

НАУЧНЫЙ МЕТОД ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ

Практическое Руководство по Развитию Творческих Способностей

М. А. Могилевский

НАУЧНЫЙ МЕТОД ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ

Практическое Руководство
по Развитию Творческих Способностей

М. А. Могилевский

Памяти моего внука
Антона Могилевского
1985-1999

ОГЛАВЛЕНИЕ

Калифорнийский Университет, Лос-Анджелес, 2010



ПРЕДИСЛОВИЕ

Карло Педретти

18 Марта 2002 года я написал письмо потенциальным издателям этой книги с объяснением, что автор - Русский учёный, живущий в Америке, упорядочил после 35 лет исследований научный метод Леонардо да Винчи. В то время я был хорошо знаком с детальным планом, который Михаил А. Могилевский составил для глубокого анализа манускриптов Леонардо да Винчи, для того чтобы извлечь из них особенности разработанного Леонардо эффективного метода подхода к любым проблемам при изучении Природы. После публикации Поля Валери в 1894 году книги «Введение в Метод Леонардо да Винчи» с акцентом на философский склад ума Леонардо – автор был поэтом, не учёным – не появилось ни одного исследования по проблеме работы ума Леонардо, ни в какой форме, ни на каком языке. И это делает М. Могилевский с полным охватом научных исследований Леонардо и его достижений.

Благодаря его строгости обоснования, необычайной мощи синтеза и убедительной ясности объяснений, Профессор Могилевский парадоксально успешно адресует свои тезисы специалисту и новичку, профессору и студенту. Способ, которым он излагает различные сложные вопросы, был бы полезен для широкой аудитории. Концепция автора о «дифференцированном обучении» показывает, что он обладает знаниями и навыками успешной работы в таких условиях. Красноречивое доказательство этого было дано четыре года назад публикацией – своеобразной заявкой, ballon d'essaie – его статьи об «Оптике Леонардо» в популярном журнале «Наука из первых рук» для международной аудито-рии, который публикуется Сибирским Отделением Академии Наук.

В то время, когда эта статья появилась в России, в Италии, а точнее, во Флоренции, где гений Лео-нардо зарождался и креп в юные годы, в знаменитой Галерее Уффици была организована в 2006-2007 годах первая новаторская выставка по теме «Ум Леонардо», возглавленная директором Музея и Института Истории Науки Профессором Паоло Галуцци в тесном взаимодействии с двумя десятками учёных, включая меня. Это была прекрасно оркестрованная коллективная попытка показать интенсивность и сложность результатов труда Леонардо – художника, учёного и технолога в любом возможном виде деятельности для того, чтобы подчеркнуть идею Леонардо, что живопись для него также была наукой.

Поэтому широкой публике надо дать возможность постичь, что должен был существовать метод, систематически и постоянно прилагавшийся им для достижения столь многих и различных целей в различных случаях и обстоятельствах. И это тот самый метод, который автор этой книги восстановил собственными усилиями и теперь столь блистательно объяснил.

carlo Pedretti

Carlo Pedretti
Director

Acknowledgements-слова признательности

Выражаю глубокую благодарность всем, кто соучаствовал в создании этой книги.

Во-первых, глубочайшая признательность Леонардо да Винчи за титанический труд по созданию картины мира, фрагменты которой запечатлены в манускриптах – научных дневниках с описанием наблюдений, экспериментов, размышлений, пионерских выводов о «причинах» - законах природы.

Благодаря самозабвенной кропотливой работе переводчиков, комментаторов и издателей опубликованы факсимильные издания манускриптов гениального средневекового учёного стало возможным изучать ход мысли Леонардо да Винчи в исследованиях и публиковать его рисунки.

Особая благодарность французскому поэту и эссеисту Полю Валери (1871-1945), который более 100 лет назад, в 1894 году, ознакомившись с только что изданными выдержками из записных книжек Леонардо, первым заявил о возможности и необходимости создания модели его мыслительной деятельности.

Я благодарен судьбе за то, что в августе 1968 года после конференции в Париже по Высоким Динамическим Давлениям посчастливилось посетить мемориальный музей Леонардо в Амбуазе и наяву ощутить величие его гения.

Марио Монтаньяни оформил мне приглашение на работу в Объединённом Научного Центре ЕС в г. Испре – Италия для исследований по проблеме поведения материалов в условиях динамического нагружения, характерных для взрыва Чернобыльского реактора. Благодаря этому я получил наконец-то доступ к факсимильным изданиям манускриптов Леонардо, книгам о его научных работах и к материалам конференций, начиная с 1910 года, в библиотеках и антикварных магазинах Милана.

Благодарю за помощь в исследованиях сотрудников Миланской Библиотеки Тривульциано.

Карло Педретти – глава современных исследователей работ Леонардо, ознакомившись в 1995 году во время нашей первой встречи в Винчи с моей схемой мыслительной деятельности Леонардо, благословил меня на написание книги. Без обсуждения с ним трудных разделов книги при последующих встречах в Милане и Лос- Анжелесе, работу над книгой едва ли удалось бы завершить.

Благодарности личного характера тем, кто зародил во мне навыки самостоятельного творческого поиска и успешной работы учителя:

Отцу Алексею Алексеевичу Могилевскому, горному инженеру, изобретателю машин для угольной промышленности. Он был для меня наглядным примером того, как надо работать;

Первой школьной учительнице в Прокопьевске Анне Георгиевне Михайловой; Назарию Андреевичу Кожевникову и Галине Михайловне Загуляевой - учителям 12 школы г. Новосибирска.

Леониду Евгеньевичу Попову, академику Владимиру Дмитриевичу Кузнецову-основателю Сибирского Физико-Технического Института в Томске, Алексею Николаевичу Орлову - моим наставникам в физике прочности;

Академику Михаилу Алексеевичу Лаврентьеву – основателю Сибирского Отделения Академии, директору Института гидродинамики, где мне довелось работать более 30 лет; инициатору перестройки школьного образования, создателю ФМШ и уникальной творческой атмосферы Новосибирского Академгородка.

Учителям и ученикам ФМШ при НГУ, от которых многому научился.

Благодарю сына Алексея, программиста-архитектора Микрософта в Сиэтле за создание в его доме после моего переезда в Америку идеальных условий для завершения научных работ по литой Дамасской стали и Методу Леонардо. Благодарю внуков Антона, Никиту и Валерию за активное соучастие в практической реализации предложений Леонардо по развитию творческих способностей.

И, наконец, особая признательность генеральному менеджеру Издательства «СОЮЗ» в Сиэтле Куян Сергею Сергеевичу за поддержку, редактирование и издание этой многотрудной книги в Америке на русском языке.

Введение

Не было бы ни абсурдным, ни невозможным пожелать создать модель для продолжения мыслительной деятельности Леонардо да Винчи посредством анализа условий, необходимых для её реализации.

Поль Валери, Введение к Методу Леонардо да Винчи, 1894

«Лист бумаги, увидев себя запачканным какими-то непонятными чернильными пятнами, очень опечалился. Но чернильница объяснила ему, что именно из-за слов, которые написаны на бумаге, теперь его будут беречь». Forster III, 27 r

Леонардо да Винчи (1452-1519) – величайший универсальный гений в истории. “Многие люди рождаются с различными замечательными качествами и талантами; но иногда в одном существе сверхъестественным образом дивно соединяются красота, изящество и дарование, так что к чему бы ни обратился подобный человек, каждое его действие носит печать божественности, и, оставляя позади себя всех прочих людей, он обнаруживает то, что в нём действительно есть, то есть дар Божий, а не достижения искусства человеческого. Именно это и видели люди в Леонардо да Винчи, в котором сверх телесной красоты, не получившей сколько-нибудь достаточной похвалы, была ещё более чем безграничная прелесть в любом поступке; о*н так развил свои способности, что к каким бы трудным проблемам не обращался* его ум, *он решал их с лёгкостью.* Слава его имени разлилась так далеко, что не только у своего времени было оно в чести, но ещё более возросло после его смерти». С таким восхищением писал Джорджо Вазари в «Жизнеописаниях наиболее знаменитых живописцев» о Леонардо примерно через 30 лет после его смерти на основе впечатлений современников. Когда Леонардо писал цитированную выше басню о бумаге и чернилах, даже его прозорливый ум едва ли мог предвидеть, что рукопись на 36 страницах, так называемый Кодекс Лейчестера, будет через 500 лет оценена на Лондонском аукционе Кристи в 28 миллионов долларов. Образное сравнение «на вес золота» здесь не применимо: рукопись весит 290 грамм, а на другую чашку весов при современной цене золота его следовало бы положить почти 7 тонн! Что же такое сверх-сверх-ценное содержится в этой рукописи великого Итальянского художника? Среди наиболее значимых научных работ, представленных в сборнике, можно отметить объяснение пепельного цвета Луны, экспериментальное исследование и правильное объяснение процесса горения, попытка объяснить природу голубого цвета неба, исследования прикладного характера по гидростатике и гидродинамике.

До нашего времени сохранилось около 7000 страниц рукописей Леонардо, что составляет согласно оценкам специалистов лишь 25-30 процентов наследства, оставленного великим Флорентинцем его ученику Франческо Мельци. Публикация с начала 1880-х годов рукописей Леонардо да Винчи сделала доступным

для изучения его исследования по физике и космологии, технике и геологии, анатомии, теории живописи и во многих других областях. Благодаря самозабвенной кропотливой работе десятков первопроходцев – книгоиздателей, историков науки, искусствоведов, физиков, геологов, биологов, инженеров и специалистов в других областях теперь мы знаем Леонардо – величайшего универсального гения в истории человечества даже лучше, чем его современники, не смотря на большие утраты научного наследства. Это Жан Поль Рихтер и Эдвард МакКёрди, которые провели тематическую систематизацию неупорядоченных записей Леонардо; Фёдор Сабашников, сын Кяхтинского купца и золотопромышленника, первоиздатель Леонардовских кодексов о полёте птиц и об анатомии; Карло Педретти и В.П.Зубов - выдающиеся комментаторы текстов Леонардо; П. Валери, И.Б.Харт, М.А.Гуковский, А.Уччелли, Л. Рети, Ч.Д.О`Маллей, Л.Хайденрайх, М.Кемп, П.Галлуцци и многие другие авторы фундаментальных работ по исследованиям Леонардо в различных областях.

Сотни книг и статей, регулярные конференции, начиная с 1910 г., были посвящены научным работам Леонардо да Винчи. В чём отличие этой книги от тысяч работ предшественников? Не является ли она очередной компиляцией из известных цитат и трактовок? На какие *новые вопросы* отвечает предлагаемая Вашему вниманию работа?

Прежде чем ответить на вопросы об особенностях книги автор должен сказать несколько слов о себе и объяснить, почему он занялся этой проблемой. По образованию – инженер-физик в области прочности металлов, с 1960 по 1998 г. работал в Новосибирске в Институте Гидродинамики Сибирского Отделения Российской Академии Наук, доктор физико-математических наук, профессор. Основная область научных исследований - механизм деформации металлов при ударно-волновом нагружении с давлением до 100 ГПа (1 млн. атмосфер). В начале 1960-х эта область науки находилась фактически в зародышевом состоянии. Так что процесс познания в этой области по существу постановок и необходимости комплексного подхода мало отличался от ситуации, в которой находился Леонардо да Винчи при его пионерских научных исследованиях.

Второй, и не менее важной особенностью автора является преподавание физики в течение 35 лет в Физико-Математической Школе при Новосибирском Университете, основной задачей которой является развитие способностей к науке у школьников, отобранных через Олимпиады.

Главной целью моего многолетнего изучения литературы о научных работах Леонардо да Винчи и его манускриптов (в 1995-96 годах я работал в Объединённом Научном Центре Европейского Сообщества – ЕВРАТОМе в Италии и получил, наконец, доступ к полному собранию его сохранившихся работ в библиотеках Милана) было понять, ПОЧЕМУ Леонардо смог так поразительно успешно работать в столь различных областях как механика и оптика, космология и геология, техника и биология, и восстановить основные особенности его метода в форме, доступной для практического использования, как в преподавании, так и в исследованиях.

Более 100 лет назад, в 1894 году, сразу после появления первых изданий манускриптов Леонардо да Винчи, Поль Валери (1871-1945), французский поэт, критик и эссеист опубликовал работу под многообещающим названием «Введение в Метод Леонардо да Винчи» [111]. Правда, позднее, в издании 1919 года, он извинялся за слишком а*мбициозн*ое название работы. Тем не менее, молодой французский поэт, а в 1894 году ему было всего лишь 23 года, смог, благодаря своей поэтической душе и интересу к проблемам творчества, отметить ряд наиболее важных особенностей научного метода Леонардо да Винчи. Так, по определению П. Валери, ум Леонардо да Винчи был «замкнутой системой, активно работающей различными методами с суммой деталей при постоянном добавлении фактов и теорий», «способным к различным видам деятельности». Как это диссонирует с уничижительными оценками многих последующих авторов, видевших в системном подходе к неизвестному, в попытках Леонардо рассмотреть все факторы, влияющие на процесс, в установлении аналогий между различными процессами признак его несобранности и неумения сконцентрироваться! Валери подчеркнул страсть к познанию у Леонардо, стремление заниматься наиболее важными проблемами, благотворную роль взаимообмена между научными исследованиями и художественным творчеством, отметил его физико-механический подход к живым организмам, обсуждал вопрос о сущности интуиции. Эпиграфом к этой работе вынесено утверждение Поля Валери, что следовало бы создать модель мыслительной деятельности Леонардо да Винчи для повышения эффективности исследований современных учёных. Уди-

вительно, что в течение всего последующего XX века никто из авторов более десятка тысяч книг о Леонардо да Винчи не взялся за её решение в целом, добавляя лишь местами отдельные элементы к конструкции, намеченной П. Валери.

Предлагаемая Вашему вниманию книга состоит их двух частей. Сначала мы рассмотрим наиболее важные достижения Леонардо в различных областях. При этом, как правило, отбираются проблемы, решённые или сформулированные самим Леонардо, такие, например, как невозможность создания вечного двигателя, волновая природа света, артериосклероз как причина старения, изобретения. Но в контексте данного исследования было бы неразумно исключать его мысли и выводы по фундаментальным проблемам, которые обсуждались предшественниками. Например, нельзя было пройти мимо очень важного заявления «Солнце не движется», написанного без комментариев на странице Виндзорского Кодекса W.12669 с математическими заметками.

Во второй части книги представлена в виде, удобном для изучения и применения, разработанная автором схема научного метода Леонардо да Винчи, набор последовательных шагов в процессе исследования, обеспечивающих успешное продвижение к цели. Как правило, элементы схемы сопровождаются советами самого Леонардо и соответствующими примерами из его работ. Во многих разделах читатели найдут *Задачи-Леонардески*, которые, несомненно, вызовут интерес способных старшеклассников, студентов и учителей и дадут им приятное ощущение, что они могут решать сложные проблемы также успешно, как Леонардо.

«Я надеюсь, что эта книга будет некоторым полезна, никому не принесёт вреда, и каждый оценит мою понятность». Какая хорошая фраза для вступления, притом на самом деле цитата из книги Рене́ Декарта «О Методе» [41], написанной в 1637 году, в которой знаменитый французский математик, философ и механик сформулировал своё понимание правил получения нового знания.

УЧЁНЫМ, которые будут пользоваться этой книгой

Творческий исследователь найдёт полезные для своей работы идеи не только в главе III. Решение Проблем. Хочу обратить Ваше внимание на два особо важных для учёных вывода из анализа научного метода Леонардо. Прежде всего, Леонардо да Винчи всегда не просто **изучал** какое-либо явление или проблему, но с самого начала работы **ставил перед собой сверхзадачу – понять суть явления и построить его физическую модель** на основе детального анализа всего набора важных параметров процесса (взгляните на материалы, представленные в главах Н-11 и 3.6.). Формульный в принципе характер современной науки не способствует развитию навыков построения качественной модели изучаемого явления, что является зачастую наиболее важной стадией работы.

Второй важный для творческих исследователей вывод из анализа научного метода Леонардо – **отрицательная роль слишком узкой специализации**. Целый ряд причин обычно упоминается для объяснения (и обоснования?) этой ситуации: социальный заказ общества; сложившаяся система образования; существующая система присуждения научных степеней; работа главным образом по контрактам.

Несомненно, детали подхода Леонардо к решению сложных, комплексных, многопараметрических проблем, его методы развития наблюдательности и памяти, формирования систематизированной «базы данных» - необходимого условия для подготовки мозга к работе в режиме интуиции, помогут Вам пересмотреть старые идеи, отложенные на послезавтра, и окажут благотворное воздействие на оригинальность Ваших исследований и на высокую творческую активность в течение многих лет.

УЧИТЕЛЯМ, которые стремятся учить свих учеников думать

Общий объём научных знаний удваивается примерно за 7 лет, или, соответственно, увеличивается в 100 раз за 50 лет, среднее время активной жизни. Оценка эта получена просто по увеличению числа научных публикаций в мире. Именно с быстрым нарастанием объёма знаний связана настоятельная необходимость коренной перестройки системы целей в образовании. Все признают, что процесс образования – много больше, чем накопление фактов, и главной задачей школы и учителя должно стать не впихивание в учеников так бы-

стро нарастающего объёма знаний, а целенаправленное, систематическое развитие в учениках навыков самообразования, способности *самостоятельно* добывать знание.

Как это ни покажется на первый взгляд парадоксальным, но знакомство с образом мышления Леонардо да Винчи, жившего 500 лет назад, позволяет нам, учителям, взглянуть как бы со стороны на систему ценностей современного образования и показывает на практике путь к эффективному добыванию знаний и к профессиональному совершенствованию учителя. Если Леонардо, средневековый ремесленник без Университетского образования, смог, разработав свой эффективный метод подхода к изучаемым проблемам, получить выдающиеся результаты в столь различных областях науки и техники, то почему бы нам не **использовать его метод, его приёмы для развития творческих способностей учащихся?** Тем более что сам Леонардо рекомендует: «*Советуйся с тем, кто хорошо управляет собой*».

Научная судьба Леонардо убедительно свидетельствует, **что учить надо всех, но нельзя учить всех одинаково**. Своё страстное стремление познать окружающий мир Леонардо удовлетворял поиском ответа в книгах и у коллег - учёных, но в основном из собственных наблюдений и опытов. Теперь мы знаем, что каждый мозг обладает уникальной структурой с различным развитием логического-левого и образного-правого полушарий, с различным уровнем зрительной, слуховой и моторной памяти, и пр. Школа может либо способствовать наилучшей реализация врождённых способностей учащихся при дифференцированном подходе к процессу обучения, либо подавить их при ориентации на общий принудительно заниженный уровень.

Леонардо учит, что «*как поедание пищи без желания вредно для здоровья, так и обучение без желания портит память и ничего не удерживает*».

Леонардо учит, что для развития умения думать важно обучение способности ***самостоятельно находить и формулировать проблемы***.

Леонардо учит, что необходимо изучать процесс, явление **в целом**, не ограничивая себя рамками одного подхода, одной науки (то, что в педагогической практике называется теперь «установлением межпредметных связей»): «*Как королевство разделённое разрушается, так и мысль разделённая путается и ослабляется*». Навык, полученный при решении нестандартных, творческих задач, полезен для успешной работы инженера, медика, экономиста, строителя.

Очень полезными для практической работы учителя по развитию творческих интересов учащихся являются нестандартные Задачи-Леонардески, которые предлагаются читателям почти во всех разделах схемы. Не стесняйтесь признаться при решении нестандартных задач в классе, что Вы не знаете ответа, ибо совместные усилия для поиска решения, с возможными тупиковыми ходами и радостью открытия останутся в Ваших благодарных учениках навсегда.

ШКОЛЬНИКАМ И СТУДЕНТАМ, которые, используя метод Леонардо, смогут успешно решать сложные проблемы.

Эта книга станет Вашим надёжным спутником, советчиком на долгие годы, если Вы не потеряли ещё драгоценнейшую врождённую способность задавать вопросы ***ЧТО? КАК? ПОЧЕМУ?*** и настойчиво искать ответы на них. ***«Важно не переставать задавать вопросы»*** - подчёркивал Альберт Эйнштейн, потому что чем глубже пытливый ум познаёт явление, тем до более фундаментальных вопросов он доходит.

Конечно, работа с книгой, освоение шаг за шагом рекомендаций Леонардо да Винчи потребуют от Вас больших усилий, но воспитание способности творчески мыслить, развитие умения находить оптимальные решения сложных проблем в науке и в жизни стоит того. Тем более что навыки творческого мышления лишь совершенствуются со временем, в отличие от обильной мало интересной информации, которая быстро забывается. Мне нравится, как образно в старой Китайской поговорке подчёркивается необходимость активных методов в обучении: ***«Я услышал и забыл. Я увидел и запомнил. Я сделал и понял»***.

С чего начать? Для молодого читателя некоторые разделы покажутся, возможно, чересчур сложными,

потому что они предполагают наличие опыта, специальных знаний. Оставьте их на потом. Вначале следует составить себе впечатление о книге в целом, затем внимательно изучить наиболее заинтересовавшие разделы и приступить к обдумыванию Задач-Леонардесок, которые предназначены для закрепления соответствующих навыков. Полезная схема «Как решать задачи по физике» дана в **Приложении 1**. Если у Вас нет пока предпочтительных тем, попробуйте решить какую-либо из следующих проблем:

- Внимательно понаблюдайте, как паук сооружает паутину. Обсудите Ваши наблюдения и возникшие вопросы с родителями, друзьями, учителем.

- Оцените, на какую высоту Вы смогли бы прыгнуть на Луне. /Стандартный ответ - в 6 раз выше, чем на Земле в таком же скафандре – не верен!/

- Облака состоят из капелек воды. Вода примерно в 1000 раз тяжелее воздуха. Почему облака, прежде чем выпасть в виде дождя, пролетают обычно тысячи километров? /Посмотрев внимательно на карту прогноза погоды в ТВ, Вы можете заметить, что облака в Сибирь приходят в основном с Гольфстрима!/

- Оцените, с какой силой нужно прижимать к бумаге шариковую ручку, чтобы она хорошо писала.

НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЛЕОНАРДО

Слава его имени разлилась так далеко, что не только у своего времени было оно в чести, но ещё более возросло после его смерти.

Джорджо Вазари, 1550 г.

Н-1. Искусство и Наука

Творение Природы понять тяжелее, чем книгу поэта.

Леонардо

Н-1.1. Универсальный Гений

Леонардо да Винчи был величайшим универсальным гением в истории, достигшим предельных высот как в искусстве, так и в науке. Мона Лиза признаётся наивысшим достижением в мировой живописи. Il Cavallo – Конь, монумент для увековечения памяти Франческо Сфорца высотой 7.2 м был изваян из глины и получил восторженную оценку современников. Леонардо разработал специальную систему для отливки такой огромной статуи за один приём, но в связи с началом войны с Францией в ноябре 1494 года 158 тысяч фунтов бронзы, предназначенной для монумента, было отправлено в Феррару для отливки пушечных стволов. Лишь через 500 лет, в конце 1999 года Конь был отлит под руководством скульптора Нины Акаму в соответствии с проектом Леонардо и установлен в Милане.

Менее известны неспециалистам достижения Леонардо да Винчи в музыке и в изготовлении театральных декораций. Вазари 112 отмечал, что Леонардо «пел божественно, аккомпанируя себе на лире» (*lira da braccio*, скрипка с семью струнами). Он изобрёл несколько музыкальных инструментов, включая оригинальную флейту, позволяющую применять приём *глиссандо*, первое фортепиано и барабан, который производил бы аккорды. На службе при дворе Сфорца в Милане да Винчи занимался организацией различных празднеств и развлечений. Сохранилось свидетельство зрителя об изумительных декорациях для постановки *«Рая»* Бернардо Беллинчиони: «Рай был сооружён в форме яйца, позолоченного изнутри, с множеством сияющих звёзд и нишами для семи планет. Звучали мягкая нежная музыка и пение. Декорации были настолько восхитительны и великолепны, что у зрителя возникало ощущение, что он видит настоящий рай» (цитируется по [75]). Открытия Леонардо в разных областях науки и его достижения в решении важных технических проблем достаточно подробно описаны в первой части книги.

В наше время реально существует различие между людьми, профессионально занимающимися искусством и наукой. Оно характеризуется различием в образовании, в восприятии мира, в системе приоритетов. Может быть, это нужно обществу в целом с экономической точки зрения (развитому индустриальному обществу нужно множество различных «винтиков») и отчасти самим людям, поскольку узкая специализация обе-

спечивает кратчайший путь к успеху в выбранной специальности. Но слишком узкая дифференциация катастрофически сужает область интересов и не способствует развитию творческой личности. В конечном счете, это не полезно и для развития общества.

Чрезвычайно высокий уровень развития творческих способностей Леонардо да Винчи как в науке, так и в искусстве имеет особое значение для нашей попытки восстановить истоки и наиболее важные стороны его метода. Мы будем ещё неоднократно возвращать к различным аспектам этой проблемы. Поэтому следует вначале сделать небольшой экскурс в специфические условия его времени и его жизни, которые способствовали зарождению и развитию такого уникального явления как Леонардо. Я не помню автора блестящего определения *гения* как человека, который пришёл *в нужное место в нужное время с нужным инструментом.* Эта формула позволяет легко извлечь искомую информацию из литературы, посвящённой Ренессансу и жизни Леонардо да Винчи.

Место – Леонардо родился в 1452 году в Тосканийской деревушке Анчиано недалеко от Винчи. С 1464 по 1483 год он жил во Флоренции. Благоприятное расположение на перекрёстке путей с севера на юг и с востока на запад способствовало превращению Флоренции в важный торговый пункт в центре Италии ещё в период Римской империи. В конце XV века она стала центром по производству шёлковых и шерстяных тканей и различным ремеслам, крупнейшим банковским и торговым центром Европы. Семейство Медичи, правившее Флоренцией с начала XV века в течение 300 лет, покровительствовало искусствам. Такие условия способствовали зарождению в этом городе Итальянского Ренессанса. Во Флоренции родились и творили в XIV-XV веках поэты Данте Алигьери (1265-1321), Франческо Петрарка (1304-1374) и Джованни Боккаччо (1313-1375), архитекторы Филиппо Брунеллески (1377-1446) и Леон Батиста Альберти (1404-1472), скульпторы Лоренцо Гиберти (1378-1455) и Донателло (1386-1466), художники Джотто (1266-1337), Мазаччо (1401-1428), Паоло Уччелло (1397-1475), Фра Анжелико (1400-1455) и Филиппо Липпи (1406-1475).

Время его жизни – конец XIV – начало XV века. Этот период называется в истории искусств Высоким Ренессансом, поскольку тогда были созданы шедевры блестящего созвездия гениев Леонардо да Винчи, Микеланджело Буонаротти (1475-1564), Рафаэля Санти (1483-1520), Тициана Вечеллио (1477-1576) и других. Возрождение - удивительное время в истории Европейской цивилизации. После тысячелетия мрачных Средних Веков в XII-XV веках в Европе произошёл крутой поворот в мироощущении человека. В период Средневековья главной целью человека было спасти свою душу для загробной жизни. Люди Возрождения меньше думали о загробной жизни, были убеждены в высоком предназначении Человека. Этот перелом в системе приоритетов привёл к бурному развитию искусств, науки, техники, к великим географическим открытиям. Интересно, что Христофор Колумб (1451-1506) и Америго Веспуччи (1454-1512) были итальянцами, а Америго Веспуччи к тому же флорентинцем и хорошим знакомым Леонардо да Винчи.

«Инструмент» - творческий ум. Как он был сотворён? Леонардо ди Сер Пьеро да Винчи, таково было его полное имя, был внебрачным сыном Пьеро да Винчи, нотариуса в пятом поколении, и женщины более низкого происхождении, которую звали Катериной. С самого рождения и до 6 лет Леонардо воспитывался в фамильном доме отца в Винчи, в живописном окружении Апеннинских предгорий, виноградников и оливковых плантаций. Мир должен быть благодарным за формирование души и интересов Леонардо его деду Антонио да Винчи, бабушке Лучии и особенно дяде Франческо, который был на шестнадцать лет старше племянника и посвящал ему много времени. В раннем детстве круг навыков и интересов Леонардо включал помимо чтения и арифметики также пение и рисование, наблюдения за полётом птиц, жизнью животных. Он рано научился ездить верхом и навсегда сохранил в душе восторженное отношение к лошадям.

Н-1.2. Образование. Интеллектуальное окружение

Леонардо да Винчи называл себя *l' uomo sensa lettere* - человек без образования, потому что в то время образованным считался человек со знанием латыни и греческого языка. Будучи незаконнорожденным, Леонардо не мог поступить в университет. Основными предметами, изучавшимися в тогдашних университетах, были помимо языков, теология, право и медицина. Поступив в университет, он с большой вероятностью мог

стать, по семейной традиции, очередным юристом. Можно сказать, что неиспорченность формальным университетским образованием способствовала расцвету его врождённых способностей и самообразованию в интересующих его областях.

С детства у Леонардо проявилась незаурядная способность к рисованию, и в 1469 году в возрасте 17 лет (по другим источникам, в 1467 или 1465) отец отдал его на обучение в мастерскую Андреа Верроккио (1435-1488). Верроккио был выдающимся флорентийским художником, скульптором, ювелиром, мастером, архитектором, математиком, инженером и музыкантом. Одним из его наиболее сложных технических проектов было изготовление и установка наверху флорентийского собора шестиметрового позолоченного шара. Леонардо получил от своего учителя не только навыки в рисовании и скульптуре, но и теоретические знания в военном и гражданском строительстве.

Интерес к анатомии, существенно более глубокий, чем просто нужно для работы художника, развился у Леонардо, по-видимому, от общения с Антонио Поллайоло (1430-1498), мастерская которого находилась недалеко от мастерской Веррокио. Поллайоло прославился изображениями человеческой фигуры в движении. Он профессионально изучил мускулы и суставы. Картины «Геркулес и Гидра» в галерее Уффици и «Битва обнажённых» в Британском музее ярко представляют результаты его анатомических исследований.

Мастерская Веррокио была фактически центром интеллектуальной жизни Флоренции, где молодой Леонардо присутствовал в дискуссиях по научным проблемам. В записи в Codex Atlanticus 12v, датируемой примерно 1472 годом, представлен список флорентийских учёных, его современников, которые в большей или меньшей степени оказали влияние на его страстно стремящийся к знаниям ум. В этом списке Карло Мармоччи – астроном и географ, Джиованни Агрипулос – философ, переводчик Аристотелевых книг «Физика» и «Небо», Бенедетто дел Аббако – известный математик, Антонио Филарет– архитектор, Паоло Тосканелли (1397-1482) – знаменитый медик, математик, астроном, географ, по советам которого Христофор Колумб и флорентинец Америго Веспуччи отправились на запад, через Атлантический океан, Леон Батиста Альберти (1404-1472) – великий Итальянский архитектор и учёный, основатель теории искусства Ренессанса, непосредственный предшественник работ Леонардо по оптике и механике. Позднее, живя в Милане, Леонардо подружился и работал со знаменитым математиком Лукой Паччолли (интересно, в 1994 году в Италии была выпущена памятная монета, посвящённая 500-летней годовщине издания его энциклопедии «Арифметика, Геометрия, Пропорции и Пропорциональность», а не юбилейной дате рождения или смерти – редкий случай в нумизматике!). Среди его коллег того периода были также Фацио Кардано (1445-1524) – юрист, известный математик и учёный; Донато Браманте (1444 -1514) – архитектор, Джиорджио Валла (1447-1500) - физик; Пьетро Монти – военный инженер; Марко Антонио делла Торре (1483-1511) – анатом.

Имея в виду широкий спектр интересов Верроккио - учителя Леонардо и контакты, как непосредственные, так и опосредствованные через книги, со многими выдающимися учёными, нельзя согласиться с часто повторяемым в литературе мнением, что Леонардо да Винчи начал свои научные исследования в 30-летнем возрасте после переезда в Милан на службу к Людовику Сфорца. Это заключение основывается на дате наиболее ранней из его сохранившихся рукописей. Но встречи с Паоло Тосканелли, Леоном Батиста Альберти не могли не возбудить глубокого интереса к обсуждавшимся проблемам. Даже если его систематические исследования и начались действительно после переезда в Милан (напомню, ¾ его записей утеряно, к тому же самые первичные черновые записи, вполне вероятно, могли быть переписаны в последующие тетради и уничтожены самим Леонардо), подготовительные стадии работы в форме чтения литературы, систематических наблюдений, анализа начались, несомненно, много раньше.

Хочу засвидетельствовать из собственного опыта огромное влияние даже краткой встречи с интересным человеком, знакомства с яркой идеей на зарождение интереса к затронутой проблеме на всю жизнь. Когда мне было 9-10 лет, Анатолий Иванович Лосев, инженер-строитель, друг моего отца, привёз мне из командировки на Урал два кристалла. До сих пор я помню эти образцы: бесцветная головка кристалла топаза и жёлто-коричневый турмалин (позднее из него в Институте Гидродинамики были изготовлены пьезодатчики). Красота кристаллов, стремление понять их происхождение и свойства, как потом оказалось, надолго определили мои научные наклонности. Ещё в школе я начал глубоко изучать минералогию и горные машины кон-

струкции моего отца. Собирался даже поступать в Горный Институт, но в последний момент передумал и поступил в МИФИ. В итоге я стал не горным инженером, а физиком. Тем не менее, мои наиболее важные экспериментальные результаты по исследованию механизма деформации твёрдых тел при нагружении ударными волнами были проведены на больших монокристаллах (20-30 мм в поперечнике) цинка и меди, для выращивания которых потребовалось изготовить специальную установку. Интересно отметить, что мой внук Антоша, печатая в 6 лет на машинке по собственной инициативе *почемучечный* листок, начал его с вопроса «Почему некоторые камни прозрачные?» (см. раздел 1.6. Любознательность).

Именно поэтому при преподавании физики я стараюсь делать простые, но шокирующие лекционные демонстрации, на семинарах возбуждаю школьников нетривиальными оценочными и экспериментальными задачами. Именно поэтому организовал в первом классе в школе, в которой учился Антон, «Клуб Почемучек», где мы вместе с ребятами обсуждали *вопросы, сформулированные ими самими*. Видели бы Вы, с каким интересом *работали* дети!

Н-1.3. Взаимосвязь между искусством и наукой.

Взаимосвязь между искусством и наукой в творчестве Леонардо да Винчи – многогранная проблема. Считается, что он начал научные исследования в интересах живописи, но не мог ограничиться лишь внешними эффектами. Научный подход к природе лежит в основе его непревзойдённого мастерства живописца. И, наоборот, обострённое ощущение художника, умение видеть процесс в целом и мельчайшие детали привели ко многим научным открытиям. В ходе окончательного редактирования книги я убрал многочисленные примеры и цитаты и оставляю здесь лишь простое и убедительное заключение Кеннета Кларка [33]: *«Леонардо рисовал так хорошо, поскольку знал столь много о том, что рисовал; было бы вернее сказать, что он знал так много о вещах и явлениях, потому, что хорошо рисовал»*. Хороший ответ на вопрос о том, кем был Леонардо в большей степени, художником или учёным.

Н-1.4. Специфические особенности искусства и науки в XV веке.

Наука очень сильно изменилась за полтысячелетия после Леонардо как в объёме знаний, так и, что даже более существенно, в методах исследования. Может быть, изменения в искусстве не столь заметны, но современные художники имеют более высокую профессиональную подготовку и обладают несравнимо большим набором техник и материалов. Изменилось даже само содержание этих понятий. *Scientia – Наука* и *Ars – Искусство* – слова латинского происхождения, которые во времена *живой* латыни означали совсем не то, что мы вкладываем в эти понятия теперь. Слово *Ars* означало *мастерство, умение работать руками*, а *Scientia – знание или теория*. «Говорим ли мы об анатомии или о живописи, *искусство* означало технические навыки, а *наука* – комплекс основ» [22] .

Высказывание Леонардо *«Истинно, живопись есть наука , законнорожденное дитя природы...»* B.N. 2038, 20r следует понимать именно в согласии со старым, Латинским определением науки как комплексе теоретических основ. Средневековая литература по искусству представляла собой в действительности сборники технических рецептов. А фундаментальная работа Леонардо да Винчи «Трактат о живописи» является, по существу, энциклопедией знаний об объектах и процессах в природе. В ней содержатся результаты его исследований по оптике (три типа перспективы, свет и тень, цвет, отражение и рассеяние света), анатомии человека и животных, механике.

В записных книжках Леонардо да Винчи явно просматривается важная особенность Средневекового искусства – положение художника в обществе. Античная классификации знания выделяла семь «свободных искусств». Музыка и поэзия были включены в число искусств, но живопись рассматривалась как механическое ремесло, поскольку она включает *менее ценную работу* руками. Так, Вазари упоминает в своей книге[112], что в монастыре Пассиньано обращались с известными художниками Давидом и Доменико Гирландайо, которые работали там в 1476-1477 годах, как с простыми рабочими и кормили их объедками с монастырского сто-

ла. Такое отношение к художникам проясняет происхождение эмоционального отрывка в «Трактате о Живописи», где да Винчи сравнивает ценность Живописи, Музыки и Поэзии. Он настаивает на превосходстве Живописи среди других искусств, поскольку она даёт истинное знание о природе:

«Действительно, всё, что существует во вселенной как сущность, как явление или как воображаемое, художник сначала воспринимает разумом и лишь затем запечатлевает рукой; и они настолько превосходны, что могут представить с одного взгляда пропорциональный и гармонический вид всего предмета целиком, как он существует в природе». Т.Р. 13

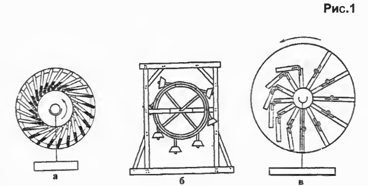
Н-2. Фундаментальные Законы Природы

Н-2.1. Невозможность построения вечного двигателя

Представление о невозможности вечного двигателя является одним из самых важных положений физики, которые школа надёжно вкладывает в учащихся. И у многих создаётся внутренняя убеждённость, что тот, кто пытается построить вечный двигатель, - или неграмотный, или сумасшедший. При таком подходе мы незаслуженно принижаем роль в развитии науки и техники многих поколений средневековых ученых. Ситуация с попытками построить вечный двигатель не столь однозначна. Во-первых, создание эффективных и недорогих машин и источников энергии есть одна из важнейших задач общества. Интересно отметить, что идей и попыток разработки вечного двигателя не было в Античном мире, не смотря на существование развитых научных школ. Причина проста: широкое использование дешёвой рабочей силы - рабов. Первые изобретения в этой области отмечаются в различных странах в XII - XIII веках в связи с потребностями ремесленного производства. Во - вторых, имеется очень сильный психологический фактор - тот, кому удастся решить эту проблему, облагодетельствует человечество, и его имя останется в веках. И, наконец, в - третьих, каждый может наблюдать вечные движения в природе: движение луны, планет, течение рек. Если такое движение имеет место в природе, неужели же человек с техническим опытом и научными знаниями не сможет создать искусственный, рукотворный вечный двигатель? Если твоя первая, вторая модель не работают, попытайся внести усовершенствования. Такие мысли подвигали многих людей, связанных с наукой и техникой, к активным поискам конструкции вечного двигателя.

Предшественники

Рис.1



Считается, что первая схема вечного двигателя была предложена индийцем Бхаскара около 1150 г. [4]. Как показано на **Рис.1-а**, устройство должно было представлять колесо с набором трубок с тяжёлой жидкостью (ртутью), закреплённых под некоторым углом к радиусу. По мнению изобретателя, перетекание жидкости в трубках должно было создать несимметрию в распределении грузов, которая и обеспечивала бы вечное вращение. Известный французский архитектор и инженер Виллар д'Оннекур предложил примерно через сто лет схему вечного двигателя, показанную на **Рис.1-б**. Предполагалось, что нечётное число грузов на колесе, *конечно* же, обеспечит несимметрию в распределении сил и будет причиной вечного движения. Эта схема и её модификации были очень популярны в средневековой Европе. По-видимому, попытки сделать двигатель именно в виде "вечного колеса" опирались на наиболее распространённый двигатель того времени - во-

Рис.2

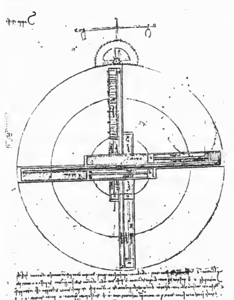


Рис.3

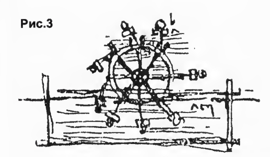
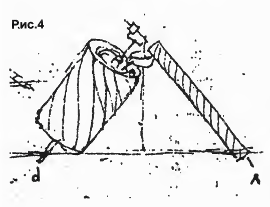


Рис.4



дяное колесо. Одна из модификаций была предложена Мариано ди Жакопо из Сиены, города недалеко от Флоренции - родины Леонардо, в 1438 г. (**Рис.1-в**). Система с грузами на шарнирах была впоследствии детально исследована Леонардо да Винчи (**Рис.5, 6**).

Работа Леонардо над проблемой вечного двигателя

Было бы удивительно, если бы Леонардо да Винчи оказался в стороне от такой важнейшей проблемы как создание вечного двигателя. И он, неизменно добивавшийся успешного понимания практически любых явлений, за которые ни брался, действительно неоднократно возвращался к ней. Сохранившиеся трактаты и записные книжки позволяют увидеть последовательное нарастание уровня его проникновения в эту сложнейшую проблему:

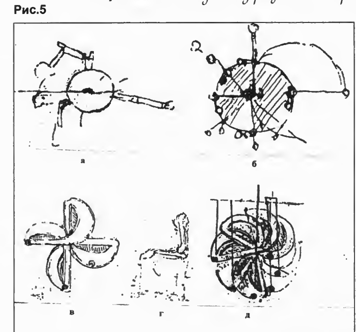
Первый уровень - изучение известных или слегка изменённых схем вечного двигателя типа колеса с грузами (**Рис.1**). Леонардо неоднократно бывал в крупнейших университетских центрах Италии - Болонье, Парме, Пизе, Риме, работал в библиотеках, активно общался с коллегами. Не исключено, что он изготавливал и исследовал модели известных различных двигателей. Однако, ни одно из колёс почему - то не работало. *«Препятствия не могут согнуть меня. Любое препятствие вызывает усилие»,* Windsor 12282 г. И Леонардо пошёл дальше.

Второй уровень - существенные изменения в схеме колеса. Внутренняя убеждённость в возможности разработки конструкции устройства для получения вечного движения заставила Леонардо да Винчи попытаться добиться положительного результата посредством модификаций известных схем вечного колеса. Следы таких попыток можно найти в его записях. Две схемы, представленные на **Рис.2 и 3**, объединены фактически общей идеей - добиться несимметрии вращающего момента (Леонардо часто использовал это понятие) с помощью введения дополнительного физического эффекта. В колесе, показанном на **Рис.2** (привод для часов), является наличие под поршнем объёма воздуха, который в начальной стадии сжимается под действием веса груза, а затем выталкивает груз на периферию. В схеме на **Рис.4** нижняя часть колеса погружена в воду и выталкивающие силы, действующие на полые коробки, должны были бы создавать дополнительные силы, обеспечивавшие вращение колеса.

Третий уровень - разработка принципиально новых схем для получения вечного движения. В записной книжке Forster I, датируемой 1489 г., на странице 42 v предложены сразу три модификации вечного двигателя с **винтом Архимеда**. Наиболее изящная из них показана на них **Рис.3.** Предполагалось, что вода будет подниматься первым винтом Архимеда малого диаметра на некоторую высоту, а затем возвращаться по второму винту на исходный уровень. Существенной особенностью все трёх модификаций двигателя является больший радиус возвращающего воду винта (что действительно должно было создавать больший вращающий момент, чем на первом колесе, но отнюдь не большую работу за цикл). Комментарий к чер-

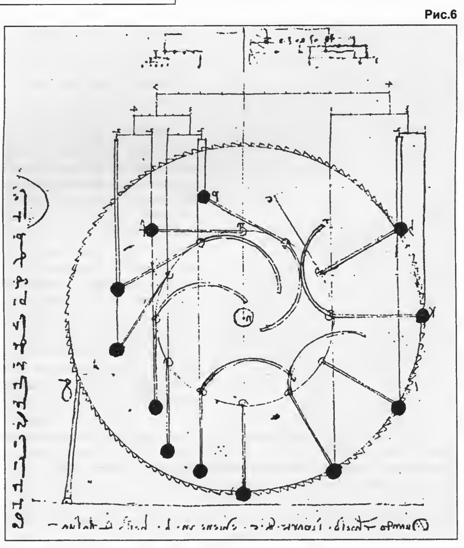
тежу - *«вода по винту bn возвращается на первый винт и повторяет этот процесс неограниченно долго»* свидетельствует, что в то время Леонардо не сомневался в возможности осуществления вечного двигателя.

Рис.5



Четвёртый уровень - анализ распределения нагрузок в схеме «вечного колеса». Многочисленные неудачи в попытках получения вечного движения, не смотря на различные способы усовершенствования схемы, заставили Леонардо да Винчи остановиться и попытаться найти *причину* неудач. Трудность решения такой задачи современному читателю станет более ясной, если напомнить, что на рубеже XIV - XV веков ещё даже **не было таких физических понятий как работа и энергия**. И всё же Леонардо да Винчи смог показать, почему не может работать наиболее популярный "вечный двигатель" в виде колеса с несимметричным распределением грузов. В его записных книжках сохранились рисунки, свидетельствующие, что для анализа поведения колеса при повороте Леонардо внимательно изучил как изменяется **причина вращения** - несимметрия распределения грузов относительно оси (т.е. вращающий момент) **в системах из небольшого числа грузов (3,4!!)**, более наглядных и простых для анализа (**Рис. 5-а-д**) и смог предложить даже **два** принципиально различных решения проблемы.

Рис.6



Решение 1. В упрощенных схемах Леонардо да Винчи заметил, что определяющим является не избыток числа грузов с одной стороны относительно оси, а их расстояния до оси (**Рис. 5-д**), т.е. положение центра масс $X_{цм}$ (или суммарный момент сил относительно оси **M**):

$X_{цм} = \Sigma m_i x_i / \Sigma m_i$; $M = \Sigma m_i g x_i = \Sigma m_i g X_{цм}$, т.е. сум-

марный момент сил равен произведению суммы приложенных сил на плечо - расстояние от оси вращения до центра масс.

Если $X_{цм}$ **= 0**, то и **M = 0** и система вращаться не будет. Несомненно, где - то должны были быть другие рисунки с аккуратным провешиванием положения центра масс таких систем при различных положениях грузов.

Любопытно отметить, что на той же странице Codex Atlanticus, откуда взяты **Рис. 5-в, д** с измеренными расстояниями грузов до оси, имеется схематическое изображение **плеча Рис. 5-г** с пометками, характеризующими нагрузку на мышцы при отклонении удерживаемого груза от вертикали. Это не просто "анатомический рисунок", а указание на то, как Леонардо искал и нашёл связь между положением масс и результирующим вращением колеса. Момент сил есть произведение силы на перпендикуляр, опущенный из оси вращения на линию действия силы. Последняя величина называется на Итальянском, Русском и Английском языках так же как и часть тела ***braccia*, плечо, arm**. Как показано в исследовании И. Харта 62, Леонардо да Винчи первым ввёл понятие о *"потенциальном плече"* и неоднократно успешно использовал его при анализе равновесия сложных систем.

На Рис.6 (Madrid II, 145 г.) представлен знаменитый чертёж колеса с вычислением положения центра масс системы. Здесь показано, что горизонтальная координата центра масс системы грузов совпадает с положением оси (справа от оси центр масс четырёх грузов находится на расстоянии 7 интервалов, слева – центр масс 7 грузов на расстоянии 4 интервалов от оси). Следовательно, система будет находиться в покое.

Решение 2. Оно находится в другом манускрипте, Forster II, но относится к тому же времени, 1493 г., что и кодекс Madrid II.

«Я беру колесо, вращающееся вокруг оси, на которое прикреплены в различных местах грузы одинакового веса, и хочу узнать, какой из этих грузов займёт нижнее положение и на какой стадии колесо остановится. Я спрашиваю тебя о положении центра всей суммы масс...». Forster II, 104 v

Вот к какому выводу Леонардо приходит в результате своих исследований:

«Какие бы грузы ни были приложены к колесу, когда они приведут к вращению, вне всякого сомнения, центр тяжести окажется ниже оси вращения; и ни в каком инструменте, придуманном человеком для вращения, этот эффект не может быть устранён.

О, спекулирующие на вечном движении! Сколько напрасных проектов вы создали! Убирайтесь в компанию алхимиков-искателей золота!». Forster II, 67 a

Здесь Леонардо да Винчи предложил фактически *энергетическое условие устойчивого равновесия* системы грузов: условие минимума потенциальной энергии (наглядный простейший пример - равновесное положение маятника). Таким образом, Леонардо удалось свести проблему вечного двигателя к положениям статики, разработанным ещё античными греками, и показать, что вместо ожидавшегося *perpetuum mobile* типичная схема колеса с грузами оказывается схемой *perpetuum stabile!*

Пятый уровень - заключение о невозможности вечного двигателя.

Итак, Леонардо да Винчи в течение нескольких лет пытался создать вечный двигатель, проводя существенные улучшения известных конструкций и изобретая принципиально новые схемы. Затем он детально разобрался в причинах, запрещающих работу типичного двигателя с откидывающимися грузами, а также, видимо, и с другими схемами с использованием воды. И вот теперь он делает вывод не просто о том, что двигатель данного типа не работает по некоторой установленной причине. Не считая более целесообразным детально разбираться в причинах, мешающих работе вечных двигателей, Леонардо формулирует в жёсткой форме заключение о невозможности реализации непрерывного движения в схеме любого типа, т.е. впервые формулирует принцип невозможности создания вечного двигателя:

«Я пришёл к выводу о невозможности нахождения непрерывного движения, а также вечного колеса. Поиск конструкции вечного колеса - источника вечного движения - можно назвать одним из наиболее бессмысленных заблуждений человека. В течение веков все, кто имел дело с гидравликой, военными машинами и прочим, тратили много времени и денег на поиски вечного двигателя. Но со всеми ними случалось то же, что с искателями золота <алхимиками>: всегда находилась какая - либо мелочь, которая мешала успеху. Моя небольшая работа принесёт им пользу: им не придётся больше спасаться бегством от королей и правителей, не выполнив обещания». Madrid I, 0 r

Далее следует довольно пространное упоминание о, по-видимому, хорошо известном в то время скандале, связанном с попыткой построить в Венеции установку, работающую на неподвижной воде.

«Я вспоминаю, что несколько наивно верящих <изобретателей> из разных стран приехали в Венецию, обещая сделать мельницу на мёртвой воде и получить много. И поскольку они не смогли заставить эту машину двигаться, то были принуждены двигаться сами, и очень быстро».

В комментарии по тому же поводу, написанном позднее сбоку мелким почерком, вода названа дословно *«спокойной, на уровне моря»*. В основном тексте и в других местах Леонардо употребляет образный термин *«мёртвая вода»*. Запись о неработающем двигателе на «мёртвой воде» неупомянутой схемы (поскольку теперь уже для Леонардо это не имеет значения), в заключительной части формулировки Принципа есть свидетельство его убеждённости в общности сделанного вывода.

«Какая - либо мелочь (!)» - этими двумя словами Леонардо да Винчи декларирует, что в любой известной схеме вечного двигателя и в любой схеме, которая может быть предложена в будущем, существуют некоторые внутренне присущие эффекты, накладывающие вето на вечный двигатель. На современном языке физики слова «какая - либо мелочь» означают любые виды неучтённых «потерь», или превращений энергии, таких, в частности, как тепловая энергия (нагревание, плавление, испарение), возбуждение механических и электромагнитных волн и прочее, вплоть до излучения нейтрино в ядерных процессах.

Комментарий 1. Как сам Леонардо оценивал значение вывода о невозможности вечного двигателя.

Леонардо да Винчи получил не один десяток фундаментальных научных результатов в различных областях. Особую важность вывода о невозможности вечного двигателя он подчеркнул весьма специфическим способом. Леонардо пришёл к этому убеждению во время составления Мадридского Кодекса. Чертёж колеса с определением положения общего центра масс **(Рис. 6)** находится на стр. 145 второго тома Кодекса. Этот чертёж - доказательство того, что колесо не будет крутиться. Кодекс скомпонован, страницы пронумерованы им самим. Леонардо добавляет к этому сборнику ещё одну, входную страницу - шмуцтитул (в оригинале она не имеет номера, в современном описании числится под нулевым номером), на которой различным почерком, т.е. в разное время (!) сделано несколько важных записей: обращение к читателю, о вечном двигателе, о возможности изготовления большой бомбарды. Карло Педретти - крупнейший специалист по работам Леонардо - считает, что запись о невозможности построения вечного двигателя датируется 1493 г.

Применял ли Леонардо да Винчи сформулированный им важнейший закон природы - принцип невозможности вечного двигателя в своих исследованиях? Многочисленные сохранившиеся записи позволяют дать утвердительный ответ. Вот две записи, относящиеся к конкретным задачам:

«Невозможно, чтобы груз, который опускается, мог поднять в течение какого бы то ни было времени другой, ему равный, на ту высоту, с какой он ушёл».

«Если колесо движет машину, невозможно ему приводить в движение две, не употребляя вдвое больше времени, то есть сделать столько же в час, сколько делает оно двумя машинами тоже в час. Таким образом, одно

колесо может вращать бесконечное число машин, но в течение бесконечно долгого времени они сделают не более чем одна в час» (цитируется по [1], стр.198).

Следует отметить также запись Леонардо о создании работающей модели «вечного двигателя». Вернёмся к **Рис. 4** [Arundel 34 v], на котором показана схема с нижней частью колеса, погруженной в воду. Любопытен комментарий к этому рисунку: *«сделай модель под большим секретом и широко объяви об её демонстрации»*. В чём же состоит секрет модели? Из последующих пояснений становится ясно, что поскольку *«мёртвая вода»* не может заставить машину работать, Леонардо намеревается организовать незаметный *поток «живой воды» («acqua viva»)*, который закрутит колесо. На рисунке показан один из возможных вариантов секретного решения: наличие незаметных отверстий в стенке сосуда. Осуществил ли Леонардо да Винчи этот замысел? Видимо, да, поскольку в круг служебных обязанностей Леонардо при княжеском дворе входила организация различных празднеств и развлечений, к тому же это соответствовало бы его репутации талантливого учёного и инженера. Но какова была цель демонстрации? Попытка показать своё всемогущество? Исключено, ему не нужна была мистическая поддержка репутации учёного. Но тогда остаётся лишь альтернативное объяснение: привлечение внимания к модели работающего вечного двигателя, а затем объяснение секрета и пропаганда крупного научного достижения - вывода о невозможности построения вечного двигателя. Отметим, что записи в кодексе Arundel датируются 1504 – 1516 гг., т.е. гораздо позднее 1493, даты, когда Леонардо пришёл к формулировке Принципа.

Комментарий 2. Последователи

Из ближайших после Леонардо да Винчи ученых, выступавших против возможности создания вечного двигателя, называют обычно [4] итальянского математика и врача Джироламо Кардано (1501 - 1576), нидерландского математика и инженера Симона Стевина (1548 - 1620) и Галилео Галилея (1564 - 1642). Кардано утверждал, что невозможно сделать часы, которые заводились бы сами собою и сами поднимали гири, двигающие механизм. Стевин получил на основании аргумента о невозможности вечного двигателя условие равновесия тел на гладких наклонных плоскостях: тело удерживается в равновесии силой, которая действует в направлении наклонной плоскости и во столько раз меньше его веса, во сколько раз длина наклонной плоскости больше высоты её. Галилео заявлял: *«Машины не создают силу; они только её превращают. Кто надеется на противоположное, тот ничего не понимает в механике»*. Следует отметить существенное различие между отношением Леонардо да Винчи и его ближайших последователей к обсуждаемой проблеме: Леонардо пытается понять, почему двигатели различных систем не работают, утверждает неотвратимость существования каких - либо эффектов, внутренне присущих системе, которые мешают её работе. Кардано, Стевин и Галилей используют принцип невозможности вечного двигателя уже как твёрдо установленный закон природы при анализе частных проблем.

Можно с достаточным основанием говорить о влиянии Леонардо да Винчи, по крайней мере, в отношении Джироламо Кардано. Его отец, Фацио Кардано - миланский юрист и естествоиспытатель - был другом Леонардо, и, конечно же, был информирован о важнейших результатах учёного. После смерти Леонардо его рукописи по завещанию перешли к Франческо Мельци, который в 1523 г. вернулся в Милан и посвятил долгие годы (умер Мельци около 1570г.) систематизации работ учителя и, в частности, подготовил к печати «Трактат о живописи». Джироламо Кардано изучал рукописи Леонардо да Винчи в собрании Мельци, тем более что среди них находились известные трактаты по анатомии и физиологии, представлявшие профессиональный интерес для врача Кардано.

В 1775 году Французская Академия приняла решение не рассматривать предложения вечных двигателей (а также и предлагаемые решения таких задач математики как удвоение куба, квадратура круга, трисекция угла). Интересно посмотреть, как Французские академики обосновывали свой вывод в конце XVIII века, когда ещё в полной силе была концепция *теплорода* [4]:

«(1) Построение вечного двигателя абсолютно невозможно: (2*) если даже трение и сопротивление среды не уменьшат длительность воздействия действующей силы, она не сможет произвести равный эффект. Причина следующая: если мы хотим полу-*

чить эффект конечной силы за бесконечное время, эффект должен быть бесконечно мал. Предположим, что тело, которому сообщили движение, при отсутствии трения и сопротивления способно сохранить это движение постоянно; но при этом не идёт речь о других телах. Это вечное движение было бы совершенно бесполезно по отношению к другим объектам, предлагаемым обычно творцами вечного движения.(3) Такие работы слишком расточительны: они уже разрушили очень много семей. Часты случаи, когда механик, который мог бы занять достойное место, растрачивал на это свою славу, время и талант. Таковы принципы, на которых основано решение Академии: постановляя, что она больше не будет заниматься этими вопросами, Академия заявляет о своём мнении об их бесполезности (4*). Часто говорят, что, занимаясь химерическими проблемами, люди открывали полезные истины. Такая точка зрения была бы обоснована в те времена, когда метод поиска истины был неизвестен во всех областях. В настоящее время, когда он известен, наиболее верный способ поиска истины - искать её»* [Hist. de l'Acad. Roy. des Sciences. 1775, p.61]

Сравнение этого текста с приведённой выше формулировкой Леонардо принципа невозможности вечного двигателя (Madrid I 0r) позволяет отметить поразительную близость между ними по существу и порядку акцентов: сначала даётся жёсткая формулировка невозможности построения вечного двигателя (1*); затем(2*)- попытка «обоснования» (наличие в любой схеме **какой-либо мелочи**, т. е. каких - то потерь, - у Леонардо и более ограниченная по существу формулировка Французской Академии, сводящая возможные потери лишь к трению и сопротивлению среды); и, наконец - (3*), тезис о незавидной судьбе изобретателей (!), не очень обязательный в научном документе. Добавленный в решении Французской Академии тезис (4*) о том, что верный путь поиска истины известен, является не очень убедительным.

Такое совпадение едва ли можно считать случайным. Французские академики, несомненно, имели возможность познакомиться с манускриптами Леонардо да Винчи, которые высоко ценились и с начала XVII века уже находились в крупных и вполне доступных библиотеках. Можно отметить, что через 20 лет после того решения Французской Академии в 1795 г., когда Наполеон ненадолго стал королём Италии, 12 кодексов Леонардо были вывезены из Милана в Париж в качестве ценных трофеев, и лишь Атлантический Кодекс был позднее, в 1815 г. возвращён в Миланскую библиотеку Амброзиана. Что касается Мадридского Кодекса, он с начала XVIII находился в дворцовой библиотеке Испанских королей. Кодекс был утерян в 1830 г., т.е. значительно позже даты заседания Французской Академии, и вновь найден лишь через 135 лет. Оказалось, что при передаче в другую библиотеку в новом каталоге были записаны неправильные номера. По - видимому, именно выпадением из поля зрения учёных Мадридского Кодекса с чёткой формулировкой невозможности вечного двигателя, и доступностью лишь кратких заявлений типа цитированных выше, объясняется недооценка роли Леонардо да Винчи в обосновании фундаментального закона природы - принципа сохранения энергии.

Пытаясь получить более подробную информацию о том, кто и как принимал это решение, я послал запрос в Архив Французской Академии. Как следует из любезно присланного мне в ответ протокола заседания Академии от 3 Мая от 1775 года, в заседании принимали участие Даламбер, Лавуазье и Лаплас, каждый из них мог бы быть инициатором постановки вопроса о вечном двигателе. К сожалению, в протоколе заседания не отражена дискуссия по обсуждавшимся вопросам.

Комментарий 3. Закон сохранения энергии и его эквивалентность принципу невозможности построения вечного двигателя.

Окончательное утверждение закона сохранения энергии в сороковые - семидесятые годы XIX века произошло на основе работ Сади Карно, Роберта Майера, Джеймса Джоуля и Германа Гельмгольца, которые показали связь между различными формами энергии (механической, тепловой, электрической и др.). Закон сохранения энергии формулируется теперь обычно в следующем виде: ***«Энергия не исчезает и не возникает из ничего. В изолированной системе энергия может переходить из одной формы в другую, но общее количество её остаётся постоянным».***

Тезис об эквивалентности между принципом невозможности вечного двигателя **(первого рода)** и законом сохранения энергии требует небольшого комментария. Современные учебники представляют, как правило, невозможность вечного двигателя как следствие закона сохранения энергии. Но имеется существенное различие между следствием и эквивалентностью. Да, закон сохранения энергии относится к святыням современной науки, число которых очень ограничено. Закон сохранения энергии и утверждение Леонардо да Винчи о невозможности построения вечного двигателя не принадлежат к числу обычных законов, полученных из эксперимента, таких, например, как закон Кулона для трения (открытый, кстати, за 300 лет до него Леонардо), закон Ома или закон Бойля - Мариотта. Оба они относятся к разряду ***начал***, или ***принципов***, т.е. к самым общим законам природы, которые согласуются со всеми имеющимися экспериментальными данными и из которых нет исключений, в которых нет приближённости. Будучи сформулированным на основании ограниченного числа экспериментальных данных, принцип становится эффективным инструментом для новых научных исследований. Принцип невозможности вечного двигателя был положен Майером и Гельмгольцем в основу анализа различных превращений энергии.

Макс Планк в работе **«Принцип сохранения энергии»** [17], опубликованной в 1887 г. (отметим, что в то время он назывался ещё не законом, а принципом, что более соответствует его происхождению и роли), сделал специальный акцент на эквивалентности принципа невозможности вечного двигателя и принципа сохранения энергии. Он исходил из несколько отличной, формулировки принципа сохранения энергии: ***«Энергия материальной системы в определенном состоянии, взятая в отношении к другому определенному “нулевому” состоянию, имеет однозначное значение»***. Доказательство Планка эквивалентности принципов коротко и прозрачно:

«Предположим, что материальная система переводится из некоторого состояния **А** в “нулевое” состояние **N** с полной работой внешних воздействий а. Предположим также, что имеется другой путь перехода с полной работой a^1, не равной **а**. После этого вернём систему из **N** в **А**, затратив внешнюю работу b. Таким образом, мы получим два циклических процесса, в которых производятся различные полные работы **(а + b)** и **(a^1 + b)**. Согласно нашему предположению, по крайней мере, одна из этих величин не равна нулю. Это даёт возможность создать вечный двигатель».

По существу, здесь принцип однозначности величины полной энергии в данном состоянии, или, что то же, равенства нулю изменения энергии при прохождении замкнутого цикла, выводится из принципа невозможности построения вечного двигателя.

Из анализа работы Леонардо над проблемой вечного двигателя и его воздействия в этой области на последующие поколения учёных следует вывод **о необходимости пересмотра роли Леонардо да Винчи в открытии принципа сохранения энергии в формулировке принципа невозможности вечного двигателя**.

Задачи-Леонардески

1. Укажите, какие «мелочи», мешают работать «вечным двигателям», схемы которых показаны на **Рис.7.** Изобретатели полагали, что следующие причины должны были бы обеспечить работу предложенных двигателей:

а) сифонный эффект: в сосуде сначала создаётся вакуум при закрытых кранах 1 и 2, затем он заполняется водой из реки через кран 1, после чего открывается кран 2, и вытекающий, в соответствии с принципом сообщающихся сосудов, поток воды используется для орошения;

Рис.7а

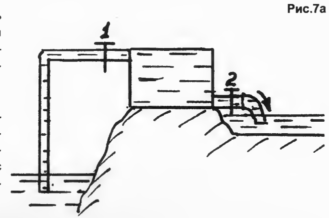


Рис.7б

Рис.7в

б) вода поднимается вверх по верёвке за счёт капиллярного эффекта; капли, падающие с противоположного конца под действием тяготения, вращают ротор динамо-машины;

в) схема с конденсатором: возьмём плоский конденсатор с очень большими пластинами, чтобы краевые эффекты были несущественными; зарядим его до высокой разницы потенциалов; с острия электрофорной машины будем через малое отверстие в пластине впускать электроны в пространство между пластинами; проходя сквозь конденсатор, электроны приобретут кинетическую энергию, выйдут сквозь отверстие во второй пластине и будут использованы для нагревания воды в чайнике или работы паровой турбины; малую часть полученной энергии используем для работы электрофорной машины. Если не найдётся убедительных возражений против такой схемы вечного двигателя, то, может быть, это - пока что единственный работающий в принципе вечный двигатель и Вам стоило бы заняться его изготовлением?

2. Организуйте соревнование: кто первым забежит с грузом в 10 (20) кг на пятый этаж. Оцените мощность, развиваемую победителем.

3. Ракета массы **M** зависла над поверхностью земли. Сколько топлива в единицу времени она должна расходовать при этом, если скорость истечения газа **u**? Как изменится результат, если ракета поднимается с ускорением **a**?

Н-2.2. Строение вещества

Леонардо был приверженцем атомистической гипотезы строения материи, постулированной ещё Демокритом около 400 г. до н.э., и успешно использовал её в научных исследованиях. В его манускриптах имеются многочисленные цитаты из древних и средневековых материалистов 64. Можно подразделить использование в научных работах Леонардо представлений об атомном строении вещества на несколько уровней.

Уровень 1 - признание атомистической гипотезы и её использование при анализе различных явлений. Он цитирует Анаксагора:

«Всё происходит из всего, и всё сделано из всего, и всё может быть превращено во всё другое, потому что существует в элементах, составлено из этих элементов». С. А. 385 v.

Он использует атомистические представления при анализе превращений воды и при объяснении голубого цвета атмосферы:

«Когда вода нагрета, она растворяется в пар, перемешивается с воздухом и поднимается теплом, пока не достигает холодной области, где сжимается до своей исходной природы, и мельчайшие частицы становятся связанными между собой». Arundel 57 v.

«Атмосфера получает свою голубизну от мельчайших незаметных частиц, которые улавливают яркие лучи солнца». Hammer 4A - 4 r

Уровень 2 - утверждение, что «простые» частицы не могут быть созданы искусственно. Золото – простое вещество; попытки получить его какими-либо искусственными манипуляциями безнадёжны. Поэтому Леонардо резко отвергает ту часть алхимии, которая направлена на превращение элементов, но признаёт огромную роль создателей различных полезных соединений:

«Природа занимается созданием элементарных вещей. А человек из этих элементов создаёт бесчисленное множество соединений... Старые алхимики свидетельствуют, что никто и никогда, случайно или в эксперименте, не сумел создать мельчайший элемент, который создаётся Природой.

Многие исследования и эксперименты алхимиков направлены на поиск способа создания мельчайших продуктов Природы, и особенно золота, которое больше, чем какие-либо другие создания похоже на солнце. Ничто не является столь стойким как золото. Оно устойчиво против разрушения огнём, который превращает все созданные вещи в пепел, стекло или дым. И если вопиющая жадность подталкивает к этой ошибке, почему бы тебе не пойти в шахты, где есть золото, созданное Природой. Она исцелит твоё безрассудство, показав, что ничего того, что ты используешь в своей печи, нет среди того, что она использует для создания золота. Там нет ртути, серы, огня; она покажет тебе жилы золота, проходящие через ляпис-лазурь, цвет которой не меняется под действием огня». Windsor 19045 v.

Поразительно обоснованные замечания о пользе посмотреть в руднике, в каком виде находится золото в природе! Жаль, что алхимики не знали совета Леонардо. Иначе многие из них, возможно, занялись бы более стоящим делом.

Уровень 3 – правильное объяснение фундаментального химического процесса – горения. На **Рис.8** показана схема экспериментов Леонардо да Винчи по горению в закрытом объёме.

«Если горящий уголёк положить наверху в сосуде /и закрыть сосуд пробкой/, вода, которая была на уровне rs, поднимется до уровня n, и это происходит не потому, что тепло поднимает воду, а потому что воздух поглотился пришедшим теплом; и так как образуется вакуум, вода поднимается, чтобы заполнить его. И если ты хочешь убедиться, что вода поднимается не теплом, открой отверстие в сосуде m в точке p, и ты увидишь, что уровень воды останется на месте». Hammer 3B–3v

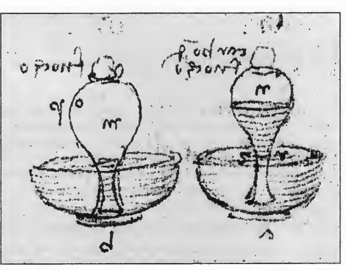


Рис.8

Приведём ещё две цитаты из Атлантического Кодекса, поясняющие, как Леонардо объяснял процесс горения: *«Там, где имеется пламя, возникает поток воздуха, который питает и увеличивает пламя... Элемент огня постоянно поглощает воздух, и образуется вакуум, если другая порция воздуха не приходит, чтобы заполнить его место».* С. А. 237 v-a.

«Там, где не может жить пламя, не могут дышать животные. Нижняя часть пламени является первой, в которой возникает огонь и через которую подходит питание к жиру; и она является менее горячей, чем остальное пламя». С.А. 270 v-a.

Таким образом, Леонардо да Винчи открыл сущность процесса горения задолго до Ломоносова (1711-1765) и Лавуазье (1743-1794).

Задачи-Леонардески

4. Если аккуратно опустить каплю воды на сковородку, она через некоторое время испарится. Исследуйте экспериментально этот процесс и постройте график (хотя бы качественный) зависимости времени испарения капли от температуры. Ваш труд будет вознаграждён шокирующим наблюдением. Объясните полученную зависимость. Оцените величину критической температуры.

5. Объясните, почему *"избыток ветра подавляет пламя, а умеренный ветер питает его»*? С.А. 270 г-а. Какие параметры определяют критическое значение скорости ветра?

6. Прикрепите полоску полиэтилена к концу палки и подожгите её. Исследуйте эффект возникновения звука при горении полиэтилена (рекомендую использовать видеокамеру и осциллограф). ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ! Опыты должны проводиться с участием учителя или родителей, притом на открытом воздухе из соображений пожарной безопасности и вредности продуктов горения полиэтилена.

7. Известно, что Гольфстрим выносит из Мексиканского залива на север 25 млн. м3/сек, что в 20 раз превышает суммарный поток всех рек на Земле. Его ширина во Флоридском проливе 75 км, глубина 700-800 м, скорость 8 км/час. Но уровень Атлантического океана в экваториальной области не понижается. Означает ли это, что в данном случае не выполняется закон сохранения массы?

Н-3. Механика

Механика была областью наиболее интенсивных исследований Леонардо да Винчи. Современники считали его высшим авторитетом как в теоретических, так и в прикладных вопросах статики и динамики, строительной механики, обосновании принципов работы механизмов и процессов, в комплексе наук о воде, в гидростатике, аэростатике и аэродинамике, в моделировании процессов, протекающих в космических телах и в человеческом теле. Даже простая количественная оценка подтверждает особо важное место исследований по механике в научном наследстве Леонардо да Винчи: в систематизированном сборнике научных материалов из Записных Книжек Леонардо, составленном Мак Кёрди, около 400 страниц из 1200 посвящены исследованиям в различных разделах механики. К этому следует добавить около 380 страниц исследований главным образом по статике, строительной механике и воде в недавно обнаруженных Мадридских Кодексах.

Начиная изучение научных работ Леонардо да Винчи, я не предполагал, что его исследования по механике, области, столь близкой моим профессиональным интересам, потребуют столь много времени и сил. Кончаю редактировать этот раздел, когда другие главы книги уже готовы к публикации. В окончательной редакции этого раздела я решил отказаться от представления его результатов в стандартной форме *предшественники* – работы Леонардо - его *достижения – последователи.* Во-первых, потому, что учёные в XV веке знали на самом деле много меньше о работах античных и средневековых предшественников, чем историки науки в наше время. Рукописные копии латинских, греческих, арабских авторов были очень редки и малодоступны. Тем более, чтобы найти их, нужно было знать, что и где искать. Во-вторых, Леонардо не получил университетского образования и был довольно слаб в языках. Ссылки в его записях указывают на возможное влияние на его идеи и исследования многих великих предшественников, и особенно Архимеда, Аристотеля, Роджера Бэкона (XIII в), Альберта Саксонского (XIV в). Но документированная корреляция между идеями Леонардо и работами предшественников во многих случаях весьма проблематична. Отсылаю заинтересованных читателей к специальным исследованиям по античной и средневековой механике [7, 32, 55, 57, 62, 118]. По-

пытки проследить развитие конкретных идей от возможных предшественников увели бы нас далеко в сторону от главной темы книги. Полагаю, что читателям, и в первую очередь студентам и учителям, будет более полезно глубже познакомиться с методами, которые позволили Леонардо да Винчи прийти во многих областях к выводам фундаментального характера, и с причинами его неудач при исследовании ряда проблем. В последующих параграфах будут конспективно перечислены некоторые результаты Леонардо в разных областях механики. Во второй части книги при изложении Научного Метода Леонардо некоторые из его исследований по механике будут более подробно рассмотрены именно в качестве примеров в подтверждение соответствующих положений Метода.

Н-3.1. Краткий обзор достижений Леонардо

Статика

- «Простые механизмы», такие как рычаг, весы, блок, винт, широко использовались в Древнем Египте и в Греции. Формула рычага **$F_1/F_2=L_2/L_1$** и начало возможных перемещений были известны ещё Аристотелю. Леонардо да Винчи успешно использовал и во многих случаях усовершенствовал простые механизмы и уточнял принципы их расчёта. Так, анализируя рычаг, Леонардо отметил неточность общепринятого формально-формульного подхода:
- *«Я нашёл, что древние ошибались в суждениях о весе, и ошибка эта возникла из того, что в большей части своей науки они пользовались телесными коромыслами, а говорили о математических, т.е. воображаемых, бестелесных; каковые ошибки я привожу здесь».* C.A. 93 v-d.
- При теоретическом анализе простых механизмов Леонардо использовал понятие о «потенциальном плече», т.е. перпендикуляре, опущенном из оси вращения на линию действия силы [Ms. M 39 v, 40 r], [Ms. E 64 r], [Madrid I, 107 r], и правильно решал задачи о равновесии тела с осью вращения [Madrid I, 148 r].
- Леонардо впервые показал эквивалентность между простыми механизмами с точки зрения виртуальной работы:

«Конец нити, намотанной с постоянным наклоном вокруг цилиндра, достигнет той же высоты, если его натянуть с тем же наклоном. Это означает, что перемещение некоторого веса винтом от m до n, равноценно перемещению его от m до p вдоль линии pm". Madrid I, 86v.

Подробнее этот вопрос рассмотрен в разделе 3.3.3. Измерения.

- Леонардо умел находить центр тяжести плоских тел произвольной формы [C.A.153 v-b]. В [Ms. F 51 r] показано, как находить центр тяжести пирамиды. Он успешно применял понятие о центре тяжести при анализе движения птиц [Sul Volo 15 v] и при исследовании «вечного колеса» [Madrid I, 148 r]. Подробнее этот вопрос рассмотрен в разделах Н-2.1 и Н-4.2.

Трение

- Леонардо впервые установил, что сила трения, действующая на тело при его перемещении по горизонтальной плоскости, пропорциональна весу тела, **$F=\mu N$**, и ввёл понятие о коэффициенте трения μ. Комплекс работ Леонардо по трению из соображений цельности анализа вынесен в специальный раздел 5.1. Трение в Главе V. Примеры Применения Метода.

Прочность материалов и конструкций

- Леонардо впервые изобрёл простую и точную установку для измерения предельной прочности проволок, канатов, дерева на растяжение (песок сыпется в сосуд, прикреплённый снизу к образцу, до момента разрыва), **Рис.9**, C.A. 82 v-b
- Анализируя напряжённое состояние в балке при изгибе, Леонардо впервые отметил наличие с ней «нейтральной» поверхности с нулевыми напряжениями, **Рис.10**, Madrid I, 84 v.
- Проводил систематические исследования несущей способности балок при различных способах нагружения [Madrid I, 136, 137].
- Леонардо, по-видимому, впервые провёл детальный прочностной анализ арочных конструкций, приме-

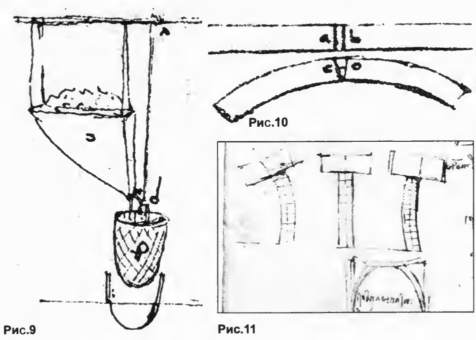


Рис.10

Рис.9

Рис.11

нявшихся ещё со времён Древнего Рима [Madrid I, 139 -142]. Он предложил использовать конструкцию типа опрокинутой арки для повышения устойчивости зданий при землетрясении [105].

• Впервые отметил эффект, что при осевом сжатии высокой колонны разрушение может происходить вследствие потери устойчивости посредством поперечного изгиба, **Рис.11**, Madrid I, 177 v.

Гидростатика

• Знал закон Архимеда: «*Столько воды покидает своё место там, где плавает корабль, сколько весит сам корабль*». Madrid II 123 v.; правильно записывал условие равновесия жидкостей разной плотности в сообщающихся сосудах [Ms. E 74 v].

• Предложил устройство для измерения давления на боковую стенку сосуда в зависимости от высоты столба воды, [Hammer 6A-6r], **Рис.12**.

• Изобрёл перегородку шлюза, состоящую из расположенных под углом двойными воротами, где само давление воды используется для лучшего смыкания стенок [C.A. 24 r-c].

• Впервые заметил подъём жидкость в трубках малого диаметра; использовал капиллярный эффект для анализа движения воды в земле ([Ms. G 70 r], [Hammer 3B-3v, 5A-32 v], см. параграф 3.7.2).

• Изобрёл водные лыжи [C.A. 262], ласты [Ms. B 81 v], устройство для дыхания под водой [B.M. 24 v].

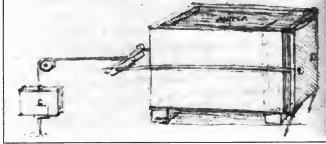


Рис.12

Гидродинамика

• Впервые сформулировал принцип неразрывности струи, или сохранения массы в трубке жидкости: **VS=const**, где **V** - скорость потока, **S** - сечение. На основе принципа сохранения массы показал возникновение при прибое обратного потока от берега вглубь моря и объяснил этим эффектом формирование отложений глины на большом удалении от берега [Hammer 2B-35r].

• Исследовал зависимость скорость вытекания струй из боковой стенки сосуда от высоты столба жидкости, **Рис.13**, [Madrid I, 134 v] (в современных учебниках физики этот рисунок приводят обычно для демонстрации эффекта Бернулли).

• На **Рис.14**, [Madrid I, 95 r], показано 8 характерных картин струй в воде и в воздухе и среди них эксперимент по удержанию мячика в струе воздуха, направленной вверх. Устойчивое положение мяча объясняется в современных учебниках возникновением возвращающей силы при смещении мяча от оси за счёт различия в скоростях потоков, обтекающих мяч с разных сторон. Тот же эффект ответствен за подъёмную силу

Рис.13

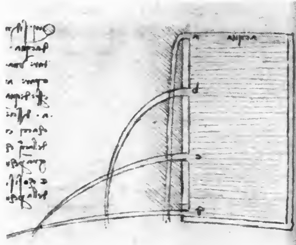
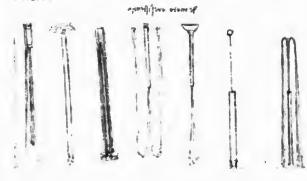


Рис.14



крыла самолёт. Академик Михаил Алексеевич Лаврентьев, Председатель Сибирского Отделения Академии Наук, любил показывать этот шокирующий эксперимент школьникам на своих традиционных лекциях в 1960-70-х годах на Летних Школах в Новосибирском Академгородке.

• Леонардо поставил изящный эксперимент по косому соударению подкрашенной и чистой водяных струй и показал, что они отражаются упруго, без перемешивания, **Рис.15-а**, [Madrid I, 132 r]. Экспериментальное исследование соударения струй в установке, предложенной Леонардо, проведенное недавно в Институте Гидромеханики в Карлсруэ, подтвердило отсутствие перемешивания, **Рис.15-б**. Замечу, что гидродинамическая модель успешно используется при анализе высокоскоростного косого соударения металлических пластин. При этом в зоне контакта формируется кумулятивная струя и в довольно широком диапазоне углов соударения происходит сварка взрывом обычно с характерным волнообразованием. На **Рис.15-в** показан шлиф биметалла вольфрам-медь, полученного по методу, предложенному автором (с отрицательным углом соударения). Интересно отметить, что на поверхности соударения струй в экспериментах в Карлсруэ также наблюдалось образование волн [78].

• Леонардо впервые исследовал турбулентность и вихри в воде и в воздухе ([Windsor 12660 v], см. анализ его наблюдений и выводов в [58,78]. Он применил результаты своих экспериментальных исследований вихрей в воде при анализе устройства клапанов в кровеносных сосудах [Quaderni IV, 11 r; 11 v; 12 r.]

• Изобрёл центробежный насос и предложил использовать его при осушении болот [Ms. F 13 r.] (см. в разделе об изобретениях Н-8. IV).

• Успешно решал научные и технические проблемы, связанные с защитой берегов от разрушения и сооружением каналов.

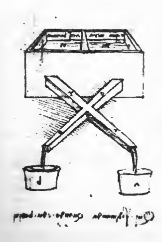


Рис.15а

Рис.15б

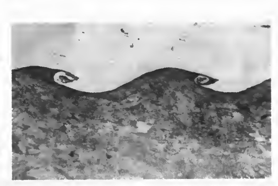


Рис.15в

Задачи-Леонардески


Рис.16

8. *«Если трубочист весит 200 фунтов, какую силу он производит ногами и спиной о стенки трубы?»*, **Рис.16** , Forster III, 19 v.

Рекомендация: перед решением задач 8-10 посмотрите в разделе 6.1. анализ достижений Леонардо при изучении трения.

9. Поставьте указательные пальцы по противоположные концы длинной линейки и начните сдвигать их к центру. Вы заметите, что сначала лишь один палец будет проскальзывать вдоль линейки и пройдёт примерно 1/5 – 1/4 длины линейки до остановки. Замерьте аккуратно это расстояние в нескольких опытах. Объясните эффект.

10. Как движение смычка по струне вызывает её звучание?

11. *«Если камень свободно падает в воду по нормали, вода в месте удара также выплёскивается вертикально вверх»*. Madrid I, 132 v.

Объясните наблюдение Леонардо, исследуйте последовательные стадии этого красивого явления (рекомендуется использовать видеокамеру). Какое влияние окажет на этот эффект наличие на поверхности воды тонкого листа бумаги или плёнки масла?

12. Объясните, *«почему пламя, поднимаясь вверх, принимает форму пирамиды, в то время как вода, вытекающая из крана, в конце разбивается на капли»*. Madrid I, 1 r. Оцените, на какой высоте тонкая струя, вытекающая из крана, разбивается на капли.

Н-3.2. Законы динамики

Законы движения, или, как их обычно называют, «Первый, Второй и Третий Законы Ньютона» изучаются в школьном курсе физики в разделе Механика, но, по сути, в них сформулированы общие законы Природы, описывающие важнейшие стороны различных процессов, от взаимодействия элементарных частиц, атомов, молекул до взаимодействия галактик. Такая роль законов движения подчёркивалась и самим названием основополагающей работы Исаака Ньютона «Математические Начала Философии Природы», опубликованной в 1687 г.

Начнём наш анализ работ Леонардо по исследованию законов движения с формулировок законов в той форме, как они были записаны И. Ньютоном.

I ЗАКОН. Каждое тело продолжает находиться в состоянии покоя или равномерного движения по прямой линии, пока оно не будет вынуждено внешними силами изменить это состояние.

II ЗАКОН. Изменение движения пропорционально внешней движущей силе и происходит в направлении линии действия силы.

III ЗАКОН. Каждому действию всегда имеется равная противодействующая реакция; или: взаимные действия двух тел всегда равны и противоположно направлены.

СЛЕДСТВИЕ. Одновременное действие на тело двух сил характеризуется диагональю параллелограмма, построенного на этих силах в один и тот же момент времени, как будто силы действуют отдельно.

II Закон, или Основной Закон Механики, в формулировке Ньютона записывается в виде **$\Delta(mV) = F\Delta t$**, изменение Импульса **$\Delta (mV)$** является результатом действия силы **F**. Следует отметить, что привычная «школьная» формула **$F = ma$** является, на самом деле, записью II Закона Ньютона лишь в том случае, если масса

m не зависит от скорости или от времени. Только «честная», формулировка, данная Ньютоном, справедлива в релятивистском случае и при анализе процессов с переменной массой, таких, например, как реактивное движение.

Леонардо да Винчи понимал важность выяснения законов, или, говоря его словами, *«причин»*, движения в различных его проявлениях, таких как движения воды, ядер, птиц, влияние трения, и пр., и пр. Его интерес к *«причинам»* движения ясно виден из списка проблем, в котором представлена его программа исследований по механике:

«Какова причина движения; что такое движение; что наиболее применимо к движению; что такое импульс; что является причиной импульса в среде, в которой он создаётся; что такое удар; какова его причина; что такое отдача; как искривляется прямолинейное движение и чем это вызывается?». Ms. I, 130 v

Бессчётные заметки Леонардо да Винчи о движении поражают читателя систематизацией, глубиной, аккуратностью его наблюдений. Как он смог подметить мельчайшие, но столь важные детали различных маневров при полёте птиц или при турбулентном движении воды без высокоскоростной камеры? Но было бы большой недооценкой его ума относить достижения Леонардо в исследования лишь к его обострённой способности наблюдать. Наблюдения для Леонардо были не конечной целью, как несправедливо считают многие историки науки, но основой для анализа и установления «причин», почему «данное событие непременно должно протекать именно таким образом». К сожалению, при исследованиях законов движения тел его теоретический базис был сильно ограничен рамками до-Ньютоновских, главным образом, Аристотелевых концепций.

Н-3.2а. Закон инерции

«Если ты слегка забьёшь гвоздь в деревянную доску, а затем сильно ударишь по противоположной стороне доски молотком, гвоздь пройдёт сквозь доску до молотка». Madrid I, 179r

Это наблюдение является, по-видимому, одним из первых, подтолкнувших Леонардо к размышлениям об эффекте инерции (основная часть кодекса Madrid I датируется, согласно анализу Л. Рети93 1493-1495 гг. Позднее, на основе своих исследований по движению снарядов, воды и полёту птиц Леонардо да Винчи пришёл к правильному пониманию инерции как важной особенности движения и сформулировал свои выводы в обобщённой форме:

«Когда птица хочет внезапно повернуться на одном из своих боков, она быстро толкает конец крыла этой стороны к хвосту, и так как всякое движение стремится к своему сохранению то, следовательно, стремительное движение такого крыла к хвосту, сохраняя ещё в своём конце часть названного импульса и само не имея возможности продолжать начатое движение, становится способным двигать с собою всю птицу до тех пор, пока не исчерпается импульс воздуха, приведённого в движение». Sul Volo 12 r

«Каждое тело будет двигаться по прямой линии, пока в нём сохраняется природа движущей силы». C. A. 109 v-a

Подчёркнутые строки в этих записях Леонардо да Винчи представляют собой обобщённый вывод из многочисленных наблюдений, соответствующий по содержанию и по форме Закону Инерции. Но историки науки считают [7, 9, 106], что Аристотелев фон этих формулировок (*«запечатлённая движущая сила»*) не позволяет считать Леонардо да Винчи первооткрывателем Закона Инерции.

Вниманию учителей физики

В истории науки считается, что Галилео Галилей (1564-1642) первым сформулировал Принцип Инерции. Как правило, в современных школьных учебниках его мысленный эксперимент, приведший к формулировке Принципа, представляется в следующем виде. Предположим, что твёрдый и гладкий шар начинает

движение с некоторой скоростью по твёрдой, идеально гладкой плоскости. В зависимости от угла установки плоскости по отношению к направлению к центру земли скорость шарика будет либо возрастать (при скатывании вниз), либо уменьшаться (при подъёме вверх по наклонной плоскости) вследствие действия притяжения земли. Но имеется, в принципе, такая ориентация плоскости, что которой шарик будет двигаться по плоскости сколь угодно долго с постоянной скоростью. Молчаливо принимается, что это есть горизонтальная плоскость. Это не совсем точно. Плоскость должна быть немного наклонена вниз для компенсации силы трения качения (отсутствие сопротивления воздуха обычно постулируется). Есть ещё один эффект, который при введении фундаментального понятия тоже следовало бы оговаривать. При движении по идеальной плоскости, касающейся в начальной точке движения поверхности Земли, шар постепенно удалялся бы от центра земли. Поэтому в идеальном случае мысленного эксперимента Галилея шарик должен двигаться по поверхности, равноудалённой от центра Земли, то есть по сфере. Могут сказать, что замечание это представляет собой «философствование» в довольно широко распространённом уничижительном употреблении слова. Неверно! Фундаментальные научные понятия должны быть определены предельно аккуратно. Мы вернёмся к обсуждению роли фундаментальных понятий в разделе **3.4.3. Определения**.

Н-3.2 б. Закон Действия и Противодействия

Леонардо пришёл к правильному пониманию и к формулировке Закона Действия и Противодействия на основе своих систематических наблюдений за полётом птиц и исследований процессов движения воды:

«Когда птица находится в положении ANC **(Рис.17)** *и хочет подняться, она поднимет плечи MO и окажется, таким образом, в позиции BMNO, затем сожмёт воздух между своими боками и концами крыльев, и создаст импульс в воздухе; этот импульс, созданный при сжатии воздуха, толкает птицу вверх».* Sul Volo 12 r

«Одинаково тяжело двигать весло относительно спокойной воды, как и двигать воду относительно закреплённого весла». B.M. 135 r

И, наконец, он записывает свой вывод в обобщённом виде, в формулировке, совпадающей по существу с формулировкой III Закона Ньютона:

«Каждое тело движется из места, в котором оно находилось, под действием объекта, который толкает его... Тело ударяет объект в той же мере, в какой объект ударяет тело». B.M. 85 r

Н-3.2 в. Почему Леонардо не мог открыть Основной Закон Динамики

По-моему, наивысший уровень, которого Леонардо да Винчи смог достичь в своих настойчивых многолетних попытках понять, *«что является причиной движения»*, является следующее утверждение обобщающего характера:

«Движущееся тело будет тем тяжелее остановить, чем больше его масса». Quaderni IV 10 v

Действительно, оно созвучно с Основным Законом *Динамики*, но слишком ещё далеко от формулировки Ньютона **F = Δ (mV)/Δt**. И наибольшее сочувствие вызывает понимание того, что Леонардо да Винчи в то время, не смотря на все свои усилия, не имел шанса от-

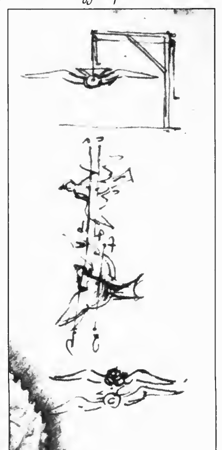


Рис.17

крыть Основной Закон Механики. Полагаю, читатель простит мне небольшое лирическое отступление, связанное с чувством сострадания с Леонардо. Известный русский учёный Лев Арцимович как-то сказал: *«Наука есть лучший современный способ удовлетворять любопытство отдельных людей за счёт государства»*. Да, учёный испытывает ни с чем несравнимое чувство удовлетворения, когда его любознательность и, как правило, изнурительная длительная работа увенчиваются крупным успехом. Но число исследователей в мире во много раз превышает число научных результатов высокого уровня. Так что заниматься наукой означает в действительности отнюдь не лёгкую жизнь. Леонардо добивался успехов во многих областях и был уверен в своих способностях. Представляя, как он пытается опять и опять понять характер и причины таких вроде бы простых процессов, как падение камня или движение снаряда, и не может прийти к разумному объяснению, я вспоминаю его последний автопортрет, который хранится в Туринской библиотеке. Леонардо записал как-то: *«Было бы приятно сознавать, что твои дни не потрачены безрассудно и не прошли попусту, без похвал и почести, не оставив следа в памяти людей»*. С.А. 12 v-a.

В конце жизни Леонардо мог бы гордиться всеобщим признанием художественных шедевров, глубочайшего почитания как непревзойдённого учёного и инженера. Но его глаза на Туринском автопортрете выражают чувство неудовлетворённости и безнадёжные мрачные мысли о невозможности довести до конца многие важные работы.

Мы можем ясно увидеть, в чём состояли принципиальные трудности в исследованиях Леонардо по механике, которые не позволили ему достичь правильного пониманию Основного Закона Механики, прочитав, как Леонардо суммировал результаты своих наблюдений по падению тел:

«В одинаково плотном воздухе падающий груз с каждой ступенью времени приобретает ступень движения по сравнению с предшествующей ступенью времени и также по сравнению с предшествующей скоростью ступень скорости. Так, за двойное время удваивается длина падения, равно как и скорость движения». Ms. M 47 r-v

Любой старшеклассник Российской школы сразу же заметит здесь ошибку, поскольку, как нас учили в 8 классе, свободно падающее тело движется с ускорением **g**, его скорость, действительно пропорциональна времени, **V=gt**, но перемещение пропорционально t^2, $S=gt^2/2$. Каковы причины ошибочного вывода Леонардо? Часто встречаемое в работах историков науки объяснение, что Леонардо некритически воспринял концепции Аристотеля верно лишь отчасти (см. более детальное обсуждение роли предшественников в работах Леонардо по механике в разделе 5.1).

По-моему, главной причиной трагической ситуации с работами Леонардо да Винчи по динамике было отсутствие достоверных данных в этой области и невозможность получить их из экспериментов при имевшихся в то время методах измерений. Действительно, для того, чтобы выяснять причины движения, необходимо сначала знать кинематические характеристики движущихся тел в конкретных условиях с достаточной точностью. Современные осциллографы позволяют измерять временные интервалы с точностью около 10-9 сек и лучше. Так называемые «атомные часы», в которых используются колебательные процессы в индивидуальных атомах, имеют погрешность 1 сек за 1000 лет. Для изучения процесса свободного падения тел исследователь должен иметь возможность аккуратно измерять временные интервалы менее 1 сек (время падения тяжёлого тела с высоты 10 м составляет 1.4 сек). До конца XVII века наиболее доступным прибором для измерения времени была клепсидра (водяные часы), не позволявшая измерять короткие временные интервалы. В 1582 году Галилей, измеряя во время службы в соборе свой пульс, заметил, что период колебаний маятника не зависит от амплитуды, но только в 1656 были изготовлены первые часы с маятником.

Хочу обратить внимание читателей на самые начальные слова в приведённой выше цитате: *«В одинаково плотном воздухе падающий груз...»*. **Все** античные и средневековые философы, и Леонардо тоже, обсуждали процессы движения, происходящие в **реальном** мире, то есть, с возможным влиянием трения, сопротивления среды. Дорогой читатель, если Вы будете внимательно и, не отталкиваясь от привычного формульного подхода, наблюдать за падением тел, то цитированный выше текст Леонардо не покажется бессмысленным. В самом деле, ведь представление Аристотеля о том, что перемещение падающего тела пропорционально времени, подтверждается наблюдениями за падением не очень тяжёлых тел, таких, например, как движение

капель дождя или падение мелких камешков в воде. Так что поразительная живучесть представления Аристотеля о пропорциональности перемещения величине движущей силы объясняется её повседневным подтверждением за движением тел в стационарных условиях, когда величина движущей силы равна величине силы трения или сопротивления среды.

Задачи-Леонардески

13. Космический корабль запущен на околоземную круговую орбиту. Космонавтам нужно изменить наклон плоскости орбиты на угол α. Какими должны быть длительность работы Δt реактивного двигателя с силой тяги **F** и его ориентация?

14. Сила сопротивления воздуха **f**, действующая на каплю дождя, пропорциональна произведению плотности воздуха ρ_0, квадрату радиуса капли r^2 и квадрату её скорости V^2, $f = A\,\rho_0\, r^2 V^2$, размерный коэффициент **A** для круглых капель равен около 1.3 kg/m³. Какие капли, большие или маленькие, падают быстрее? Оцените величину установившейся скорости падения капель с радиусом 2 мм; 0.1 мм. Какую скорость имели бы капли, падающие из облака с высоты порядка 500 м, если бы сопротивления воздуха не было?

15. Оцените скорость приземления парашютиста.

Н-4. Полёт птиц. Летательные аппараты

Леонардо да Винчи признан во всём мире пионером, первопроходцем аэронавтики. Миф об Икаре отражает многовековую мечту человечества о полёте. Подобные мифы были также и в Вавилоне, и в Древней Греции, и в Китае. Возможность изготовления летательного аппарата типа орнитоптера (махолёта) с машущими крыльями была в числе предсказаний Роджера Бэкона, написанных в 1250 г. Леонардо первым перешёл от мечтаний к научным и инженерным исследованиям. Он интенсивно работал над этой проблемой более 30 лет. В девяти кодексах из его сохранившегося научного наследия содержится более 500 рисунков и 35000 слов о полёте птиц и о летательных аппаратах. Все знают, что Леонардо да Винчи разработал несколько схем махолёта. Но это была лишь одна, и отнюдь не самая плодотворная ветвь на его удивительном древе исследований полёта. Мы представим здесь весьма конспективно некоторые из его пионерских исследований и проектов и напомним наиболее важные вехи из последующего развития аэронавтики для того, чтобы рельефнее подчеркнуть уровень достижений Леонардо. Более подробную информацию об его исследованиях можно получить из сохранившихся манускриптов, в первую очередь из знаменитого «Кодекса о Полёте Птиц», и из подборки записей Леонардо, собранных и отредактированных МакКёрди. Наилучшая научная реконструкция исследований Леонардо да Винчи по проблемам полёта была выполнена итальянскими учёными Паоло Уччелли (разрешите, между прочим, заметить, что *"il uccello"* по-итальянски означает «птица») и Карло Замматтио [109]. 10 глав этой книги организованы в соответствии с планом, составленным самим Леонардо. В них представлены в систематизированном виде материалы из разных кодексов с детальным научным анализом наблюдений Леонардо и его выводов. Не ясно, почему такой выдающийся фундаментальный труд не переведён с итальянского на другие языки. Мне посчастливилось приобрести эту книгу во Флоренции в одном из маленьких букинистических магазинов, где она, нечитанная, пылилась в течение нескольких десятков лет на верхнем стеллаже.

Н-4.1. Цель Леонардо

Леонардо да Винчи сформулировал основополагающую идею и конечную цель исследований в этой области предельно ясно:

«Птица – действующий по математическому закону инструмент, и в человеческой власти воспроизвести его со всеми его движениями, но не со столькими же возможностями; птица имеет преимущество только в отношении возможности поддерживать равновесие. Поэтому мы скажем, что построенному человеком инструменту не хватает лишь души птицы, которая должна быть заменена душой человека.

Душа в членах птицы, без сомнения, лучше отвечает её запросам, чем это может сделать душа человека, в особенности при движениях почти неуловимого балансирования. Но, поскольку мы видим, что птица способна обеспечить большое разнообразие движений, мы вправе на основании наблюдений решить, что наиболее явные смогут быть доступны познанию человека и что он сможет в значительной степени предотвратить разрушение того инструмента, душой и вожатым которого он себя сделал». С.А. 161 r-a.

«Большая птица начнёт первый полёт со спины исполинского лебедя, наполняя вселенную изумлением, наполняя молвой о себе все писания, - вечная слава гнезду, где она родилась». Написано это на внутренней стороне обложки Кодекса о Полёте Птиц. Без веры в свою возможность решить крупную проблему и целенаправленных, зачастую многолетних усилий, едва ли можно рассчитывать на успех! Леонардо с самого начала исследований наметил даже подходящее место для испытаний своего летательного аппарата на горе Монте Чечеро недалеко от Флоренции (*«cecero»* по-итальянски значит «лебедь»).

Леонардо исходил в своих исследований полёта из безусловной веры (по-другому этот тезис назвать было бы неправильно, поскольку, в конечном счете, он оказался ошибочным), что полёт с помощью махания крыльями – величайшее изобретение Природы – является наилучшим решением:

«Гений человека может создать изобретения, приводящие с помощью различных инструментов к одному и тому же результату; но оно никогда не будет более красивым, более экономичным и ясным, чем решение Природы, поскольку в нём нет ничего неполноценного и излишнего». Windsor 19116 r.

В соответствии с этой философией, Леонардо – гениальный учёный и инженер – считал, что его высшей задачей является сконструировать летательный аппарат по принципу птицы (точнее, по принципу летучей мыши), преодолевая все технические трудности (*«препятствия не могут согнуть меня; любое препятствие вызывает усилие»*).

Никто до него не подходил к идее о полёте человека в воздухе как к технической проблеме. В ходе свих многолетний исследований Леонардо да Винчи впервые определил приоритетные вопросы, решение которых необходимо для осуществления полёта, и в ходе исследований сделал научные открытия и обосновал оригинальные практические решения многих проблем, опередившие последователей на 300-400 лет. Отметим наиболее важные из осуществлённых разделов его программы исследований:

1. Изучение анатомии летающих живых существ и человека для того, чтобы использовать в конструкции летательного аппарата наилучшие решения, найденные Природой (в наше время это является одной из главных задач бионики). Одним из наиболее наглядных выводов в этом разделе было заключение о необходимости использовать в аппарате в качестве прототипа не крыло птицы, а крыло летучей мыши, непроницаемое для воздуха и имеющее рёбра жёсткости. Сравнение мышц птицы и человека привело его к заключению о том, что мышцы ног человека лучше использовать в роли движителя, чем мышцы рук.

2. Систематические исследования деталей различных манёвров при полёте птиц для обеспечения безопасности летательного аппарата, его равновесия и надёжного управления полётом. Опираясь на изучение полёта птиц, он сформулировал в качестве одного из важнейших принципов конструирования летательного аппарата необходимость управления положением центра сопротивления относительно центра масс для маневрирования.

3. Исследование прочностных характеристик материалов (проволоки, нити, бумага и пр.). Главным образом благодаря достижениям физики металлов и разработке методов получения высокопрочных плёнок и композитных материалов стало возможным, начиная с 1977 г., создание мускулолётов с пропеллером, позволяющих осуществлять безмоторный полёт на расстояние в десятки километров. Так, мускулолёт «Дедал», на котором в 1988 г. был осуществлён рекордный перелёт с Крита на остров Санторин на расстояние 72.4 мили, при размахе крыльев 33.6 м весил всего лишь 31 кг.

4. В ходе поиска альтернативных конструкций летательного аппарата Леонардо предложил не менее 5 разновидностей махолёта, воздушный шар, парашют, планер, вертолёт.

5. Леонардо понимал необходимость предварительного, в процессе конструирования, измерения подъ-

ёмной силы крыла и предложил соответствующие методы. Современные самолёты проходят натурные испытания в специальных аэродинамических трубах.

6. Будучи уверенным, что ему удастся создать работоспособную конструкцию, Леонардо да Винчи предусмотрел даже меры безопасности при посадке. Изобретённое им устройство для поглощения энергии при ударе см. в главе VI-1. Примеры применения метода. Трение.

Н-4.2. Механика полёта птиц

«Как тела тяжелее воздуха могут в нём держаться и двигаться? Чтобы обсуждать этот вопрос, ты должен в первой книге определить природу сопротивления воздуха, во второй – анатомию птиц и их крыльев, в третьей - как работают крылья и их различные движения, в четвёртой - сила крыльев и хвоста, когда они не движутся и когда ветер благоприятствует выполнению различных движений». Ms. F 41 v.

Удержание равновесия и оптимальное выполнение различных маневров при полёте является врождённым качеством птиц. Любая ошибка при управлении полётом аппарата тяжелее воздуха грозит катастрофой. Поэтому Леонардо да Винчи столь много внимания уделил детальному изучению полёта птиц и уяснению причин наблюдаемых эффектов. Он провёл **сотни систематических наблюдени**й по механике различных маневров при полёте птиц. Это были, действительно, не просто наблюдения для удовлетворения любознательности, но научные исследования с целью уяснить механизмы различных манёвров и понять их причины. Леонардо выяснил, как относительное положения центра масс и центра сопротивления и распределение сил изменяются в зависимости от направления ветра и движения крыльями и хвостом. В процессе уяснения причин эффектов Леонардо да Винчи открыл и сформулировал в обобщённом виде закон инерции и закон равенства действия и противодействия (см. раздел Н-3.2. Законы движения). Ниже приведено лишь несколько показательных примеров из этой серии его работ. Читателям, желающим более подробно ознакомиться с работами Леонардо по исследованию полёта и современной научной трактовке наблюдаемых эффектов, очень рекомендую книгу А. Уччелли и К. Замматтио «Книги о Полёте Леонардо да Винчи» [109]. Поразительно, с какой точностью Леонардо да Винчи мог отмечать малейшие детали в процессе полёта птиц на достаточно большом расстоянии и притом без кинокамеры:

***а. относительное положение центра масс и центра сопротивления*, Рис.17**. верхний-устройство для нахождения центра масс; второй и третий сверху – к описанию маневров птицы:

«Когда птица опускается, её центр тяжести находится впереди центра сопротивления; так, если центр тяжести находится на линии AB, то центр сопротивления на линии CD. А когда птица хочет лететь вверх, то центр тяжести FG находится позади центра сопротивления EH». Sul Volo 15 v.

б. специфические особенности крыла ласточки и её полёта:

«Крылья ласточки весьма отличны от крыльев коршуна, ибо рука (braccio) - очень короткая, а ладонь (mano) – длинная. И при полёте они ударяют по двум направлениям, а именно, ладонь гребёт в сторону хвоста, а рука в сторону земли. И таким образом одно движение гонит птицу вперёд, а другое поддерживает её на высоте, и при желании птица даёт обоими крыльями направление в одну сторону». C.A. 369 r-a

в. как птица поднимается с помощью ветра без ударов крыльями*, Рис.17-нижний*:

«Эта птица всегда поднимается кругами при содействии ветра. Она всегда испытывает удары ветра снизу по наклонной линии; и когда такой ветер ударяет её в лоб, она выгибает свои крылья плечами к небу, а когда ветер бьёт её в хвост, она выгибает плечи к земле. И так всегда эта птица забирает ветер спереди, сзади или сбоку от центра своей тяжести». B.M. 134 r.

Задача-Леонардеска

16. Понаблюдайте и объясните, как птицы взлетают, каковы стадии их полёта «по горизонтали», как они приземляются, как кругами движутся в восходящих потоках воздуха, как жаворонки могут взлетать вертикально вверх, а колибри зависать в воздухе около цветка и другие маневры, которые Вам удастся наблюдать. Можно также воспользоваться кадрами из фильмов. Затем сравните Ваши наблюдения и заключения с анализом этих маневров у Леонардо да Винчи.

Н-4.3. Движитель

Ключевой проблемой полёта является природа и величина **движущей силы**. Сравнивая особенности анатомии птиц с характеристиками соответствующих элементов в теле человека, Леонардо пришёл обоснованному заключению, что

«Сухожилия и мышцы птицы несравнимо более мощные, чем у человека, потому что все мышцы у неё больше, и мышечная часть груди увеличивает мощь движения крыльев...». Sul Volo 16 r. Посему Леонардо предпринял систематические исследования сил, которые могут развивать различные мышцы человека и смог получить достоверные данные, необходимые для оценки работоспособности конструкций:

«Человек имеет большую силу в ногах, чем требуется для поддержания его веса; чтобы показать это, поставь его на землю и посмотри глубину отпечатка ног. Затем посади ему на спину другого человека и увидишь, насколько глубже стали отпечатки. Затем убери груз со спины и вели человеку подпрыгнуть вверх, насколько он может; и ты найдёшь, что ноги его уйдут в землю при прыжке глубже, чем в случае со вторым человеком на спине. Следовательно, мы доказали, что человек может развивать силу, более чем в два раза большую, чем нужно для поддержания его веса». Sul Volo 16 r.

В различных конструкциях махолёта он предполагал использовать для движения аппарата и управления им не только силу ног, но и мышцы рук, спины и шеи. Он разработал также устройства для проведения «натурных экспериментов» с целью оценки размера крыльев и возможности развития силы, требуемой для подъёма в воздух. Одно из них, показано на **Рис.18**, C.A. 381 v-a. Второе представляет собой, по существу, схему натурного эксперимента:

Рис.18

«Если хочешь увидеть настоящую пробу крыльев, сделай их из бумаги, армируй сеткой, а главный костяк сделай из тростника. Одно крыло должно иметь в ширину и в длину, по меньшей мере, 20 локтей и должно быть укреплено на подставке весом в 200 фунтов. Сделай быстрое усилие. Если подставка в 200 фунтов поднимется раньше, чем крыло опустится, испытание удачное. Но позаботься, чтобы сила действовала быстро. Если же указанный эффект не получается, не трать на это больше времени». Ms. B 88 v.

Обратите внимание на вес подставки, с которой Леонардо проводил эксперименты – 200 фунтов, или около 90 кг. Напомню, что современные высокопрочные плёнки и композитные материалы позволили построить мускулолёт «Дедал» весом 31 кг.

Н-4.4. Мускулолёт

На основе исследования полёта птиц Леонардо проделал основную часть научных исследований по программе полёта аппарата, имитирующего конструкцию и технику птиц. Для практического осуществления многовековой мечты человечества оставалось решить лишь одну проблему - повысить «удельную мощность движителя», то есть отношение величины развиваемой подъёмной силы к весу аппарата. Но с решением этой проблемы Леонардо не справился, как не справился до сих пор никто из энтузиастов разработки аппарата с машущими крыльями. Сохранившиеся записи Леонардо да Винчи позволяют проследить его последовательные шаги к решению этой проблемы.

- Первый этап – крылья, прикреплённые к рукам человека, классическое решение типа, описанного ещё в Древней Греции в мифе об Икаре:

«Ты сделаешь анатомию крыльев птицы вместе с грудными мышцами, которые движут крылья. И ты сделаешь то же для человека, чтобы показать возможность для человека, который этого хочет, удержать себя в воздухе посредством движения крыльями». С.А. 45 r-a.

Как видно их схематического рисунка, С.А. 309v-a, уже здесь он отказался от бездумного копирования крыльев птицы и имел в виду изготовить сплошные крылья, не пропускающие воздух. Ясно также, что Леонардо рассматривал такую конструкцию как пробную, лишь для того, чтобы показать возможность полёта человека, который «очень хочет».

- Схема с горизонтальным положением авиатора, **Рис.19**, Ms. B 74 v. После проведения сравнительной анатомии мышц, обеспечивающих махание крыльями у птицы и у человека, Леонардо пришёл к выводу, что человек сможет полететь, лишь используя силу ног:

«...ноги человека находятся на fd; нога f опускает крылья, нога d поднимает их». Таким образом, опускание крыла согласно этой схеме производится одной ногой. Но тут же Леонардо предлагает усовершенствование: *«Необходимо, чтобы опускание крыльев производилось под действием обеих ног, и ты должен управлять движением и сохранять равновесие, опуская одно крыло быстрее другого... Поднимание крыльев надо производить силой пружины, и это лучше, поскольку руки твои будут свободнее».*

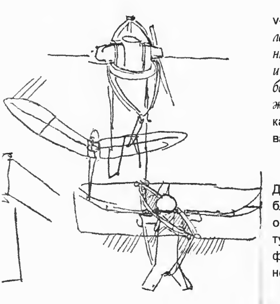


Рис.19а

- Схема с вертикальным положением авиатора, С.А. 276 v-b: *«Я пришёл к заключению, что вертикальное положение полезнее, чем положение лицом вниз, оно является более привычным. Поднимание и опускание крыльев производится опусканием и подниманием двух ног с большой силой, и руки остаются свободными; в то время как при полёте лицом вниз их гораздо тяжелее удерживать в горизонтальном положении».* Кроме того, как подчёркивал Леонардо, такая схема позволяет использовать также силу, развиваемую головой и руками.

- **Рис.19-б**, С.А. 327v.a.: мускулолёт с двумя авиаторами! Другой вариант аппарата представлен в С.А. 381 v.a. Это – блестящая идея того же уровня, что и идея К.Э.Циолковского о многоступенчатой ракете для выведения спутника на орбиту. Удвоение мощности движителя значительно повышает эффективность летательного аппарата вследствие относительно меньшего увеличения его веса.

Таким образом, в процессе разработки конструкции летательного аппарата Леонардо да Винчи достаточно успешно продвигался по пути всё более эффективного использования

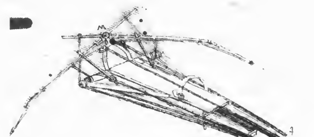


Рис.19б

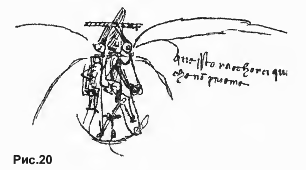


Рис.20

единственного, имевшегося в его распоряжении движителя – мускульной силы человека. Мы можем даже сказать, каким был бы вполне возможный его следующий шаг в этом направлении. Тупиковая ситуация с разработкой конструкции махолёта связана по сути дела с невозможностью обеспечить осуществление взмахов крыльями с большой силой, не говоря уже о требовании большой частоты движений. Предложение использовать пружину для подъёма крыльев весьма проблематично, ведь для взведения пружины понадобится дополнительное усилие, которого и так не хватает. Ясно видимый ход к дальнейшему повышению эффективности использования силы ног состоит в их непрерывном движении, как это реализуется на велосипеде. Но ведь велосипед был впервые изобретён именно Леонардо да Винчи (см. раздел 3.8. Приложения)! Он же изобрёл и альтернативный, не – птичий способ создания силы тяги с помощью пропеллера. По-видимому, Леонардо всё же не сделал этот шаг не из-за того, что не успел, а вследствие своего преклонения перед творениями Природы: *«изобретение человека никогда не будет более красивым, более экономичным и ясным, чем решение Природы, поскольку в нём нет ничего неполноценного и излишнего»*. А жаль!

Престижная цель – создать конструкцию летательного аппарата, движимого мускульной силой человека, была решена лишь через 500 лет после Леонардо. В 1977 г. американский авиаинженер П.Б. МакКриди получил специальный Приз Кремера за создание моноплана с пропеллером «Гоззамер Кондор», который впервые выполнил «восьмёрку» в Калифорнии. Через два года модифицированный «Гоззамер» (размах крыльев 28 м, вес 34 кг) пересёк Ламанш. В 1988 г. на мускулолёте «Дедал» (размах крыльев 33.6 м, вес 31 кг), сконструированном в Массачусетском Технологическом Институте, был установлен рекорд дальности – полёт на 115 км от Крита до острова Санторин. Леонардо был бы счастлив узнать об этих достижениях!

Можно упомянуть здесь также о запатентованном американским изобретателем Р.Спадлинге в 1888 г. курьёзной конструкции - махолёте (считают, он даже не знал о работах Леонардо да Винчи), к которому предлагалось привязать шар, наполненный лёгким газом. Согласно простой оценке, диаметр шара должен быть около 10 м, так что управлять полётом с помощью крыльев на такой конструкции можно было бы лишь в случае совершенно безветренной погоды.

Н-4.5. Воздушный шар

Вазари в «Жизнеописаниях Художников» 112 отмечал, что Леонардо изготавливал тонкие полые фигурки животных из бумаги, пропитанной воском, наполнял их тёплым воздухом, что заставляло их летать в воздухе к огромному удивлению зрителей. Это единственное упоминание о том, что Леонардо да Винчи демонстрировал полёт тел, более лёгких, чем воздух. Мог ли он перейти от этой, несомненно, впечатляющей демонстрации к конструированию большого шара, наполненного тёплым воздухом, для полёта человека? Да, конечно. Ведь у него всё необходимое было для этого: и стремление летать, и опыт перехода от малых полезных инструментов к конструированию аналогичных гигантских установок (вспомните, например, о его проработанном до деталей проекте гигантской катапульты, C.A. 53 v-ab, и о проекте «шагающего экскаватора», C.A. 1 v-b), и материал, пропитанный воском, и движитель – тёплый воздух. Очевидно, он не продвинул этот метод далее, к использованию для полёта человека потому, что неуправляемый полёт воздушного шара не соответствовал его устремлениям.

Первый полёт человека на воздушном шаре состоялся в 1783 г. Аэростат был изготовлен Дж.– М. Монгольфье. Высота шара была 24 м. В первом полёте шар, наполненный тёплым воздухом, поднялся примерно на 30 м. Применение высокопрочных плёнок, бензиновых горелок и доступность информации о скорости и направлении воздушных потоков на разных высотах сделали возможным в 1999 г. осуществить на аэростате первое кругосветное путешествие (Бертран Пикар и Брайан Джонс, длительность полёта 20 дней примерно на широте Сахары).

Н-4.6. Парашют


Рис.21

Леонардо да Винчи внёс фундаментальный вклад в использование парашюта для безопасного приземления при прыжке с большой высоты. Маленький рисунок **Рис.21**, C.A. 381 v-a. в Атлантическом Кодексе – единственное свидетельство его интереса к данной проблеме, сопровождается следующим указанием:

«Если человек имеет шатёр шириной 12 браччиа и высотой 12 браччиа, покрытый тканью, он может прыгнуть с любой большой высоты, не причинив себе вреда». C.A. 381 v-a.

Старая итальянская мера длины *браччиа* равна примерно 0.6 м. Мы можем проверить безопасность использования такого «шатра», оценив величину скорости приземления при прыжке с достаточно большой высоты (именно этот случай рассматривал и Леонардо). При этом тело будет двигаться с постоянной скоростью, и сумма сил, действующих на парашют, равна нулю. Этими силами являются вес человека с парашютом **Mg** и противоположно направленная сила сопротивления воздуха **F**. Задача решается в системе отсчёта, связанной с парашютом. По второму закону Ньютона $\mathbf{F = \Delta (mV)/\Delta t = \rho S V \Delta t\ V/\Delta t}$, где **m** - масса воздуха, с которой взаимодействует падающий парашют за время $\mathbf{\Delta t}$, ρ - плотность воздуха, **S** – сечение набегающего потока. **Mg = F.** Отсюда $\mathbf{V = \sqrt{Mg/\rho S}}$. Приняв для оценки $\mathbf{M \cong 120}$ **кг**, $\mathbf{g \cong 10}$ **м/сек**^{2}, $\rho \cong \mathbf{0.8}$ **кг/м**^{3}, **S = 52** м^2 (размер, предложенный Леонардо), получим $\mathbf{V \cong 5.4}$ **м/сек**. Это вполне безопасная скорость, она равна скорости приземления при падении тела с высоты $\mathbf{H = V^2/2g \cong 1.5}$м.

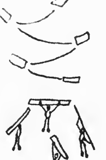
Не ясно, на чём основывалось утверждение Леонардо да Винчи о размере парашюта, обеспечивающем безопасное приземление. Второго закона Ньютона он не знал. Может быть, бросал грузы с шатром с башни? Не исключено, но записей о таких опытах не сохранилось.

В хрониках зафиксировано, что около 1600 г. математик Фаусто Веранцино совершил несколько прыжков с башни в Венеции с парашютом того же типа, что был предложен Леонардо. Ранцевый парашют изобрёл в 1911 г. Г.Е.Котельников. Им же было предложено использование парашюта для уменьшения посадочного пути самолёта.

Н-4.7. Дельтаплан. Параплан

«Птицам нужно затрачивать меньше сил, чтобы удерживать себя в воздухе, когда они используют восходящие потоки, и чем крупнее птица, тем медленнее она машет крыльями». Sul Volo 16 r.

В ряде публикаций об исследованиях Леонардо да Винчи о полёте отмечалась его идея о возможности осуществления «безмоторного» полёта человека, планирования [109, 61, 31]. Принципиальная схема планирования человека на достаточно большой плоской конструкции представлена на Ms. G 74 r., **Рис.22**, возникшая из наблюдения за падением лист бумаги (!). В комментарии к рисунку говорится: «Человек будет двигаться направо, если он согнёт свою правую руку и вытянет левую; и он будет двигаться справа налево, если поменяет положение рук». Рядом со схемой Леонардо поместил рисунок листа, падающего по зигзагообразной траектории, для того, по-видимому, чтобы показать, что с помощью отмеченных выше манёвров планирование может быть управляемым.


Рис.22

В 1965 г. в Испанской Национальной Библиотеке были обнаружены два манускрипта Леонардо да Винчи, считавшиеся утерянными после 1830 г., а, в действительности, внесённые в каталог под ошибочными номерами. Одна из наибо-

лее интересных записей во вновь обретённых манускриптах Леонардо представляет собой описание планера, существенного более совершенного типа, чем тот, что был описан выше.

«Ноги человек помещаются на m, грудь в ab. Ветер, дующий вдоль линии h, может время от времени поднять h, входя под неё, как если бы это была гайка винта. Для этого человек потянет за верёвку S. Он может, если нужно, воспользоваться таким же образом другой верёвкой, и тогда аппарат направится вниз». Madrid I, 64 r.

На **Рис.23**, Madrid I, 64 r. показано также как с помощью верёвок ***mt*** и ***mv***, которые идут от ног к боковым сторонам аппарата, можно наклонять плоскость, направляя её движение направо или налево. Устройство, представленное на рисунке, является прямым предшественником популярных в наше время летательных аппаратов – дельтаплана и параплана (парашютирующее гибкое крыло). Идея жёсткого крыла с хорошей аэродинамикой сближает его с дельтапланом. Различие состоит в том, что в современных дельтапланах управление полётом осуществляется посредством перемещения авиатора относительно рамы, жёстко связанной с крылом. В параплане управление полётом осуществляется так, как показано на рисунке Леонардо, но крыло не жёсткое, а гибкое.

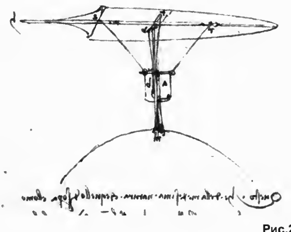


Рис.23

Рисунок в Мадридском Кодексе не производит впечатления первичного, чернового наброска, уж очень точно в нём показан профиль крыла и система управления полётом. По-видимому, в несохранившихся манускриптах Леонардо были и другие, предшествующие и последующие варианты аппарата. Предпринимал ли Леонардо да Винчи попытки полёта на своём планере? Сохранилось лишь два весьма нечётких упоминания о таких попытках. Первое – ссылка на высказывание Джироламо Кардано (1501-1576), математика и медика, сына Фацио Кардано, друга Леонардо да Винчи: «Леонардо да Винчи также пытался летать, но безуспешно. Он был великий художник». Считают также, что о намерении произвести испытание летательного аппарата говорит запись *«Завтра утром во второй день января я сделаю ремни и предприму попытку»*. C.A. 314 r-b. Если он предпринимал попытки испытания летательного аппарата, то это могло относиться по всей вероятности лишь к планеру, поскольку ни в одной из конструкций махолёта ему не удалось достичь требуемой величины подъёмной силы. Но, к сожалению, если такие попытки и имели место, они были безуспешными.

Первый успешный полёт дельтаплана с человеком был осуществлён в 1853 г. на аппарате конструкции Георга Кэйли (1773-1857). Огромную роль в развитии интереса к авиации сыграли полёты (более 2500!) Отто Лилиенталя (1848-1896) на планере в 1893-1896 годах. Небезынтересно заметить, что он опубликовал в 1889 г. книгу «Полёт Птиц как Основа Авиации». Одно из его открытий в этой области – использование птицами пропеллеро-образного движения маховыми перьями. В наше время полёты на парапланах и дельтапланах стали популярным видом спорта. Рекордное время полёта на параплане превышает 11 часов, рекордная дальность – более 300 км. Парапланеристы использовали в качестве стартовых площадок многие горные вершины, включая Эверест.

Н-4.8. Пропеллер. Вертолёт

Махание крыльями и планирование как принципы движения летательных аппаратов Леонардо да Винчи заимствовал у птиц. В поиске альтернативных способов полёта тел тяжелее воздуха он пришёл к практическому применению шара, наполненного тёплым воздухом, но не стал двигаться далее в этом направлении, по-видимому, из-за малой возможности управления таким аппаратом. Изобретённый им вертолёт–аппарат, не имеющий аналога в живой природе, относится к числу достижений Леонардо, наиболее широко известных

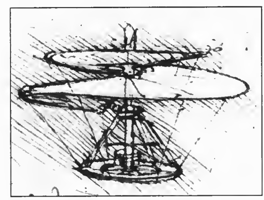


Рис.24

нашим современникам. Историки науки обнаружили, что у Леонардо был предшественник, китайский алхимик Ко Гунс, который в IV веке придумал волчок - пропеллер, который, будучи раскрученным, взлетает вверх. Эта игрушка была известна в средневековой Европе [61]. Не столь важно, знал или не знал Леонардо о существовании такой игрушки, он впервые предложил использовать пропеллер как альтернативный движитель для летательного аппарата, **Рис.24**, Ms. B 83 v. Здесь, как и при разработке других технических проектов, Леонардо да Винчи сформулировал своё предложение в форме, которая включала предварительные соображения, касающиеся наиболее существенных конструктивных особенностей конструкции аппарата и направления дальнейших исследований:

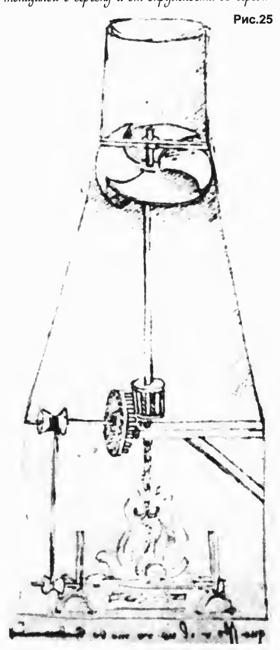
«Наружный край винта должен быть сделан из проволоки толщиной с верёвку и от окружности до середины должно быть восемь локтей.

Я пришёл к заключению, что если этот аппарат в форме винта сделан хорошо, т.е. из полотна, поры которого прокрахмалены, и сильно раскручен,- что названный аппарат ввинчивается в воздух и поднимается высоко. Примером может служить широкая и тонкая линейка, которая сильно раскручена; ты увидишь, что край этой плоской поверхности будет направлять движение твоей руки». Ms. B 83v.

Мы можем только гадать, почему Леонардо уделил так мало внимания изучению процесса летания с помощью винта. Может быть он сделал модель вертолёта, работающую на предварительно закрученной пружине, и обнаружил нежелательный эффект вращения кабины в противоположном направлении (в случае одного ротора это является следствием закона сохранения углового момента). Имеются также другие причины чисто технического характера, такие, как необходимость развить и поддерживать высокую скорость вращения пропеллера и необходимость разработать надёжную систему управления.

Тем не менее, он верно оценил красоту идеи о пропеллере и нашёл для неё эффектное практическое применение. Если вращающийся пропеллер производит поток воздуха, направленный вниз, то поток воздуха, падающий на него, вызовет вращение пропеллера (Леонардо первым сформулировал принцип относительности в классической механике). Его изобретение показано на **Рис.25**. C.A. 5 v-a. Здесь муфта оси пропеллера закреплена в вытяжной трубе над большим вертелом. Для того чтобы мясо не подгорало, за ним надо постоянно следить и поворачивать. Горячий воздух в схеме Леонардо, поднимаясь в трубе, вызывает вращение пропеллера, которое передаётся через систему шестерёнок на вертел. Это изобретение представляет первый в мире автомат с обратной связью: чем сильнее огонь, тем быстрее вращается

Рис.25



вертел. Какое простое и красивое решение! Несомненно, оно было реализовано при дворе Миланского герцога и в других местах, поскольку герцоги и их приближённые часто пировали, не сидели на диете.

Лишь в XX веке с появлением двигателя внутреннего сгорания стало возможным конструирование современных вертолётов. Игорь Сикорский (1889-1972), знаменитый Русско-Американский изобретатель построил в 1909 году первый вертолёт, который мог подниматься вертикально вверх с земли. В 1939 г. его VS-300 стал первым серийным вертолётом. На счету Сикорского также создание первого большого четырёхмоторного самолёта «Илья Муромец», нескольких вариантов тяжёлых бомбардировщиков и самолёта-амфибии. Интересно отметить, что Сикорский как-то сказал, что загорелся идеей создания вертолёта ещё в детстве, после того как мать (врач, не физик) показала ему рисунки летательных аппаратов Леонардо.

Задачи-Леонардески

17. Для чего в парашютах делается отверстие в центре?

18. Дети любого возраста любят запускать бумажные самолёты. Поддержите их интерес и сделайте из этой *игрушки* первое в их жизни *научное исследование*, легко понимаемое и приводящее к наглядным результатам. Рекомендуемые этапы: организационный (чего мы хотим; согласовать время для работы; 2-3 соучастника было бы лучше из соображений независимых ходов); завести журнал наблюдений; изготовить 3-4 существенно различных конструкции, сравнить их лётные характеристики, записать параметры и дальности полётов; определить список важных параметров самолёта выбранной конструкции (размер, толщина и жёсткость бумаги, форма крыла, закрылки, дополнительный грузик для смещения центра тяжести…); приучить детей к системе в работе (измерения, таблица, анализ, вывод, изменения в модели для проверки гипотезы…). Очень важно поддерживать, хвалить, не навязывать жёстко свои предложения, бережно сохранить лучшие модели.

19. Проблема для группы способных студентов и/или инженеров: спроектируйте и сделайте мускулолёт на трёх человек. Схема *Икаруса* может рассматриваться как подходящий прототип. Несомненно, наличие трёх «мускульных моторов» превратит аппарат из специфического спортивного инструмента, спроектированного для установления рекордов, в средство для приятных и неутомительных путешествий, доступное многим, поскольку одновременная работ трёх движителей понадобится только на стадии подъёма, а затем по очереди каждый получит возможность отдыхать, наслаждаясь полётом.

Н-5. Оптика

«Глаз является родоначальником астрономии... именно он даёт советы всем человеческим искусствам... он – государь математических наук, его науки – достовернейшие. Он измерил высоту и величину светил,... он породил архитектуру, перспективу и божественную живопись. О превосходнейшее из всех творений Бога! Какие хвалы могут выразить твоё благородство? Какие люди, какие языки способны в полной мере описать твои функции? Глаз – окно человеческого тела, через которое он глядит на свой путь и наслаждается красотой мира, без него эта человеческая темница – пытка. Благодаря ему человеческая изобретательность открыла огонь, посредством которого глаз вновь обретает то, что ранее отнимал у него мрак. Глаз украсил природу возделанными нивами и садами, полными отрады...Он превзошёл Природу, ибо простые природные возможности ограничены, а труды, которые глаз предписывает рукам,– бесчисленны». T.P. 28

Такими восторженными словами выражает своё отношение Леонардо к глазу – главному инструменту художника и учёного. Три особенности *«окна души»* и связанные с ними проблемы представляли наибольший интерес для Леонардо да Винчи: анатомия глаза и механизм зрения; оптические эффекты в природе, воспринимаемые и понимаемые благодаря глазу; и, кроме того, ещё одна, более специальная проблема – как наилучшим образом выразить всё разнообразие наблюдаемой природы на плоской картине. Достижения Леонардо да Винчи в научных исследованиях оптики во многом определили непревзойдённый уровень его художественных произведений. В этом разделе мы представим лишь очень краткий обзор его работ в различных разделах оптики. Читателям, интересующимся оптикой более глубоко, можно рекомендовать самостоятельно поработать с цитированными манускриптами Леонардо и познакомиться с публикациями [5, 9, 19,68, 69, 113].

Н-5.1. Строение глаза. Механизм зрения

Эти проблемы принадлежали к числу наиболее важных для Леонардо. В своих исследования он, как всегда, стремился самостоятельно получать достоверные экспериментальные данные об изучаемом объекте. Для анализа хода лучей в глазу необходимо было исследовать его строение. Во избежание вытекания желеобразной внутренней части глаза при анатомировании он придумал метод термической обработки, который, к сожалению, в этом случае дал искажённый результат.

«Напиши в своей «Анатомии», в каком отношении стоят друг к другу все сферы глаза и на каком расстоянии от них находится сфера хрусталика». C.A. 345 v-b.

«При анатомировании глаза, для того чтобы хорошо рассмотреть что внутри, не проливая его влаги, положи глаз в яичный белок. Прокипяти и укрепи, разрезая яйцо и глаз поперёк, дабы из средней части ничего не пролилось». Ms. K 119 r.

Пытаясь понять механизм зрения, Леонардо отверг представление, восходящее к античным предшественникам, об исходящих из глаза лучах, «ощупывающих» изучаемый объект, и пытался разобраться с ходом лучей в многокомпонентной структуре глаза. При этом он был убеждён, что в глазу – *«окне души»* должно строиться прямое изображение объекта:

«По необходимости все изображения объектов, находящихся перед глазом, пересекаются в двух плоскостях. Первое из пересечений происходит в зрачке, второе в линзе хрусталика... Никакое изображение, даже самого малого объекта, при входе в глаз не может не стать перевёрнутым; но при дальнейшем прохождении через линзу хрусталика оно переворачивается ещё раз и принимает то положение, которое имел объект перед глазом». Windsor 19150 v

Мы вернёмся к более детальному обсуждению этой проблемы в Главе IV. Ошибки Леонардо.

Н-5.2. Физиологическая оптика

Начнём с роли радужной оболочки, регулирующей размер зрачка в зависимости от освещённости, хотя эффект этот настолько очевиден, что, с большой вероятностью, был известен кому-либо из предшественников:

«Зрачок глаза может сильно изменяться в зависимости от степени яркости и темноты предметов, которые предстают перед ним... Ты можешь убедиться в этом, наблюдая ночных животных, каковы кошки, филины, совы и т.п., у которых в полдень зрачок маленький, а ночью огромный... И если хочешь это проверить на человеке, смотри пристально на зрачок его глаза, держа зажжённую свечу на некотором расстоянии, и вели ему смотреть на этот свет; если ты будешь постепенно приближать свечу, то зрачок станет всё больше сокращаться по мере приближения к нему света». Ms. D 5v.

По-видимому, он впервые обратил внимание на весьма нетривиальный эффект, связанный с восприятием быстротекущих изменений в объекте – сохранение в глазу изображения в течение некоторого времени:

«Сияние света или другого светящегося тела остаётся в глазу в течение некоторого времени после того, как ты на него смотрел; движение маленькой головёшки, быстро вращаемой по кругу, кажется непрерывным и однородным огнём, а движение капель дождя, воспринимается как непрерывные нити, ниспадающие из туч». C.A. 360 r-a.

Сущность этого эффекта, заключающаяся в изменениях при воздействии света в родопсине, активном элементе фоторецепторов, была выяснена лишь сравнительно недавно. Эффект задержки зрительного вос-

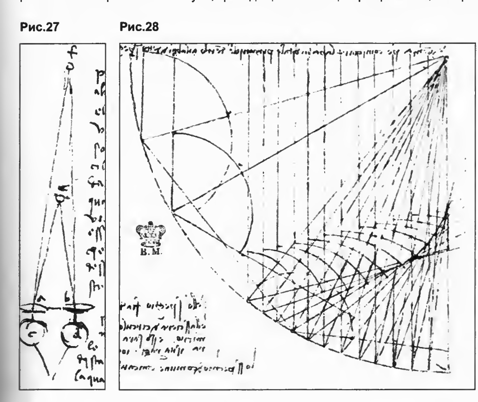
приятия лежит в основе столь привычных для нас кино и телевидения. И именно задержкой зрительного восприятия объясняется один из секретов Леонардо – завораживающая улыбка Моны Лизы, волновавшая зрителей в течение пяти веков. Так в чём же заключается секрет улыбки Джоконды, **Рис.26** (См. в разделе Иллюстрации в конце книги). Ответ был получен на основании анализа последовательных кадров при киносъёмке человека, внимательно рассматривающего картину: если в первый момент взгляд был направлен на правую половину рта, то затем он перемещался вверх на нос, глаза, лоб и заканчивалось обследование на левой половине рта. То есть, у человека имеется некий алгоритм быстрого осмотра лица. Левая половина рта Джоконды улыбается, правая – выражает состояние сосредоточенного внимания. И поскольку взгляд смотрящего не сразу схватывает всю картину, а последовательно обегает её, то благодаря задержке восприятия к концу осмотра создаётся парадоксальная ситуация – глаз как бы видит отображение на лице одновременно различных состояний души.

Это объяснение таинственной полуулыбки Джоконды подкрепляется результатами недавнего компьютерного исследования, проведённого учёными из Нидерландов и США. Программа проанализировала основные черты лица, изгиб губ и морщинки вокруг глаз, а затем оценила лицо по шести главным группам эмоций. Согласно оценкам лицо Джоконды на 83% счастливое, на 9% - выражает чувство отвращения, на 6% - полное страха, и на 2% - злое. Сенсационное открытие в истории искусств было сделано и в 1987 г. Искусствовед и специалист по компьютерной графике Лилиан Шварц показала, что при повороте Туринского автопортрета Леонардо на 90 градусов характерные параметры лица художника и Джоконды совпадают с высокой точностью. По-видимому, для того чтобы создать портрет человека Ренессанса с его сложным духовным миром, Леонардо и использовал столь необычный приём – рисовал части портрета Джоконды со своего лица в разных эмоциональных состояниях.

Н-5.3. Геометрическая оптика

Леонардо знал, хотя лишь качественно, без формул, как преломляются лучи в линзах. На странице Атлантического Кодекса [С.А. 244 r-a] обсуждается вопрос о том, какие очки и почему нужны старому человеку, **Рис.27**. Он аккуратно исследовал ход лучей в сферическом зеркале. Как видно из **Рис.28**, Arundel 87 v. параллельные параксиальные лучи, проходящие вблизи центра кривизны, собираются в фокусе, который находится на расстоянии, точно равном **R/2**. Чем дальше луч отстоит от оси, тем ближе к поверхности зеркала он пересекает ось.

Рис.27 **Рис.28**



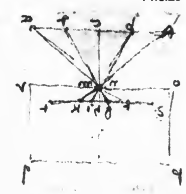
По всей видимости, он был знаком с оптическими системами. Об этом свидетельствуют рисунки хода лучей в глазу (см. раздел в главе IV. Ошибки Леонардо). Известна его запись о телескопе: «*Сделай очковые стёкла для глаза, чтобы увидеть луну крупнее*». С.А. 190 r. Увеличенное изображение удаленного объекта можно получить лишь в оптической системе, состоящей, по крайней мере, из двух линз или в системе из вогнутого зеркала и линзы.

Леонардо изобрёл специальный станок для изготовления больших вогнутых зеркал и изготавливал такие зеркала. Так что его образования хватило бы на то, чтобы построить телескоп. Но едва ли он на самом деле выполнил своё намерение. Во-первых, потому, что систематические исследования звёздного неба не входили с круг его интересов. Во-вторых, если бы он сделал телескоп, это не прошло бы не отмеченным современниками. Первые двухлинзовые телескопы были сделаны в Голландии в 1590-х годах. Несколько позже инструмент того же типа изготовил Галилей.

Камера – обскура

Леонардо правильно объяснил, как строится изображение в камере-обскуре, **Рис. 29**, и как его яркость и чёткость зависят от диаметра отверстия и расстояния до изображения. Он предлагал использовать камеру-обскуру для точного измерения углового размера луны и солнца, а также использовал принцип камеры при анализе механизма зрения:

Рис.29



«Опыт, показывающий как предметы посылают свои изображения или подобия, пересекающиеся внутри глаза в хрусталике.... Это станет ясно, когда сквозь маленькое круглое отверстие изображения освещённых предметов проникнут в очень тёмное помещение; тогда ты уловишь такие изображения на белую бумагу, расположенную внутри помещения неподалёку от этого отверстия, и увидишь все выше названные предметы на бумаге с их очертаниями и красками, но будут они меньших размеров и перевёрнутыми по причине упомянутого пересечения... прямые лучи с правой стороны объекта, освещённого солнцем, проходят через отверстие и оказываются на левой стороне изображения, а те, что пришли от правой стороны, приходят налево; и также происходит в зрачке». Ms. D 8r.

Н-5.4. Фотометрия

Леонардо является основателем фотометрии, раздела оптики, в котором рассматриваются вопросы освещённости. В собрании выдержек из Записных книжек Леонардо да Винчи, составленном МакКёрди, вопросам света и тени посвящено более 120 записей. Леонардо детально изучал эффекты, возникающие от одного и от нескольких источников света в зависимости от относительного положения источника, объекта и глаза, эффекты прямого и рассеянного света, цветные рефлексы и пр. Он верно установил основные законы фотометрии:

Зависимость освещённости тела от угла падения света

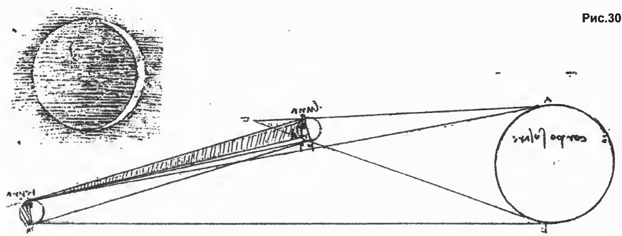
«Опыт. Свет, падающий на затенённое тело под самым острым углом /от нормали – М.М./, создаёт самую большую освещённость, а наиболее тёмной частью тела является та, которая получает свет под большим углом; и свет, и тень образуют пирамиды». Ash. I, 21 b.

Зависимость освещённости от расстояния до источника света

Из исследований зависимости освещённости тела от расстояния до источника света Леонардо получил ***«пирамидальный закон»***, то есть, что освещённость уменьшается с расстоянием как $\mathbf{1/R^2}$. Тот же закон он применял и при анализе ослабления звука с расстоянием, и при анализе излучения тепла от горячего тела [Ms. G 85].

Леонардо впервые правильно объяснил **происхождение пепельного цвета поверхности луны**, не освещённой солнцем. На **Рис.30** Hammer 2A-2r, показано, что поток солнечного света, отражённый от земли, подсвечивает тёмную сторону луны. Читатель с образованием на уровне средней школы может сам оценить освещённость тёмной стороны луны (см. задачу-леонардеску в конце раздела).

Рис.30



Н-5.5. Излучение, поглощение и рассеяние света

Тепловое действие света

«Вогнутое зеркало, само будучи холодным, отражает лучи и получается тепло, горяче , чем от огня... Сферический сосуд, заполненный холодной водой, собирает падающие на него лучи и создаёт тепло, большее, чем от огня. Из этих двух экспериментов следует, что тепло является собственной сутью лучей, а не приходит от горячего зеркала или шара». Ms. F 85 v.

«Солнце греет за счёт своего естественного тепла». Ms. F 85 v.

Голубой цвет атмосферы

Я был поражён, обнаружив в Кодексе Хаммера, что Леонардо да Винчи 500 лет назад сформулировал проблему о происхождении голубого цвета неба и смог прийти к почти правильному ответу. Ведь голубой цвет неба, согласно современным научным представлениям, является результатом рассеяния солнечного света, представляющего собой электромагнитные волны, на флуктуациях плотности воздуха. Потому так интересно погрузиться в логику мышления Леонардо при анализе столь сложной проблемы. Мы вернёмся позднее (см. параграф 4.2-а в главе IV. Ошибки Леонардо) к более детальному обсуждению того, на основании каких наблюдений и рассуждений он пришёл к ответу на поставленный вопрос.

Влияние рассеяния света на восприятие удалённых объектов

Изучая особенности восприятия удалённых объектов, Леонардо выделил две стороны проблемы и даже дал им специальные названия: **перспектива цвета** – как меняется видимый цвета объекта с увеличением расстояния до него, и **перспектива отчётливости** - почему границы удалённых объектов видны не столь резко [B.N. 2038 13v] (см., например, пейзаж за спиной Моны Лизы). Заметки Леонардо о перспективе цвета составляют специальную Главу VI в «Трактате о Живописи». Вот одно из наблюдений, важное для художника-пейзажиста:

«Различные цвета, которые сами по себе не голубые, будут на большом расстоянии казаться голубее, и цвета, наиболее далёкие от чёрного, на большом расстоянии почти сохранят свой цвет. Следовательно, зелень полей будет казаться более голубой, а жёлтый и белый меньше изменятся, чем зелёный, а красный ещё меньше». Ms. L 75b.

Знаете ли Вы, уважаемый читатель, что сигнальные огни автомобилей и светофоров окрашены в красный цвет именно из-за минимального рассеяния красных лучей в воздухе по сравнению с лучами других цветов из видимой части спектра? Можно сказать, что это есть наиболее широко используемый результат научных исследований Леонардо да Винчи, конкурирующий лишь, по-видимому, с изобретённым им велосипедом (и, как это очень часто бывает, без упоминания имени автора).

Что касается исследований **перспективы отчётливости**, они послужили научной основой ***сфумато*** – знаменитой техники живописи, изобретённой Леонардо да Винчи.

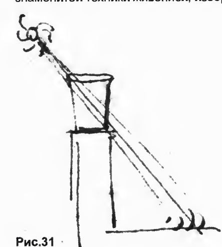


Рис.31

Дисперсия света

Леонардо описал явление разложения солнечного света в спектр за двести лет до И. Ньютона, **Рис.31**:

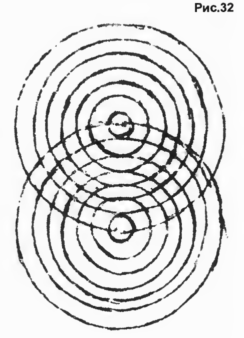
«Если ты поставишь стакан, доверху наполненный водой, на подоконник в затемнённой комнате так, что солнечные лучи будут падать на него снаружи, то увидишь образование из солнечных лучей, прошедших через стакан, разноцветных полос на полу под окном. И поскольку глаз здесь не принимал участия, мы можем с уверенностью сказать, что возникновение этих цветных полос никоим образом не связано с глазом». Windsor 19149 г.

Н-5.6. Волновая природа света

Аналогия между волнами на воде, звуком и светом.

«Когда волны гуляют по полю, колосья остаются на месте». С.А. 84

Рис.32



Феноменальная наблюдательность художника и стремление познавать суть явлений в природе позволили Леонардо да Винчи заметить глубокое сходство между такими на первый взгляд различными явлениями как волны на воде, звук и свет. Леонардо глубоко изучил процессы движения тел в разных средах и причины изменений, происходящих при их взаимодействии (можно упомянуть такие непростые явления и процессы как трение, удар, столкновение струй, маневры птиц при полёте). И вот, при изучении волн на поверхности воды его поразил необычный для многих других взаимодействий в природе эффект: волны от разных источников после ясно видимых изменений амплитуды в процессе пересечения при последующем удалении от области пересечения восстанавливали свою форму, **Рис. 32**, Hammer 14 B-14v. И тот же эффект отсутствия последствий после прохождения одного возмущения через другое он заметил в звуковых и в световых явлениях. Леонардо был убеждён, что такое совпадение не случайно и является следствием глубинного сходства в природе столь несхожих явлений. Может быть, последующая цитата несколько длинновата, но описываемые здесь наблюдения и ясная логика рассуждений Леонардо позволяют показать важнейшую особенность его метода – использование аналогий при решении сложных проблем.

«Хотя звуки, проникающие через воздух, кругообразно расходятся от своей причины, тем не менее, круги, распространяющиеся от различных исходных точек, встречаются, проникают друг в друга и проходят один через другой, всегда сохраняя в качестве центра свою причину. Так как во всех случаях движения вода имеет боль-

шое сходство с воздухом, я свяжу это ради примера с вышеприведённым положением. Я говорю: если бросишь одновременно два камешка на некотором расстоянии друг от друга на гладкую и неподвижную поверхность воды, то увидишь, как вокруг обоих мест удара возникает два независимых друг от друга множества кругов, которые растут, наконец, встречаются, потом пересекают друг друга, всегда сохраняя в качестве своего центра те места, куда камни ударились. Причина заключается в том, что хотя и появляется некоторая видимость движения, вода не сдвигается со своего места, так как отверстия, которые сделали камни, тотчас же сомкнулись, и это, возникшее от внезапного размыкания и смыкания воды движение производит в ней некое сотрясение, которое гораздо скорее можно назвать дрожанием, нежели движением. И чтобы тебе стало яснее, о чём я говорю, обрати внимание на соломинки, которые по своей лёгкости остаются на воде, – они не покидают прежнего своего места под действием волны, возникающей под ними от прохождения кругов... вода, оставаясь на месте, легко может воспринять это дрожание от соседней части и передать его другой соседней, постоянно убавляя свою силу, до конца». Ms. A 61r.

Отправная точка анализа волновой природы звука и света – наблюдение пересечения волн от камешков.

«Каждое тело наполняет окружающий воздух своими изображениями, и каждое изображение появляется в нём полностью и во всех своих частях. Воздух наполнен бесконечным множеством прямых линий, лучей, которые пересекают друг друга без смещения и воспроизводят на всём, что встречают, истинную форму своей причины». Ms. A 2v

Таким образом, сходство между тремя обсуждаемыми явлениями, волнами на воде, звуком и лучами света, состоит в свободном, без заметных катастрофических последствий, проникновении друг через друга возмущений, исходящих из разных источников. Леонардо прав: такое поведение является наиболее важной характеристикой волнового движения и **только волнового движения**! При этом волны могут быть продольными или поперечными, колебаться могут либо частицы среды, либо величины напряжённости электромагнитного поля.

Стоит напомнить, что представление о волновой природе света было признано физиками лишь в XVIII веке после 100 лет споров. Исаак Ньютон, открывший один из наиболее красивых интерференционных эффектов – образование колец на контакте выпуклой линзы с полированной плоскостью, был сторонником корпускулярной теории света и отвергал волновые представления, развивавшиеся Христианом Гюйгенсом. Волновая концепция была окончательно принята лишь после классических экспериментов Гюйгенса, Юнга и Френеля по интерференции, дифракции и поляризации света. Драматическая история развития физической оптики является результатом особенностей взаимодействия света с веществом в зависимости от соотношения длины волны света λ и характерного размера объекта а:

Если $\lambda \ll a$, распространение света в среде хорошо описывается законами лучевой (геометрической) оптики;

если $\lambda \sim a$ – то есть, длина волны имеет тот же порядок величины, что и характерный размер объекта, проявляются волновые свойства света – это область интерференционных и дифракционных эффектов;

$\lambda \ll a$ – область квантовой оптики, описывающей такие процессы как фотоэффект, рассеяние света на молекулах и электронах, излучение лазера.

Вне всякого сомнения, у Леонардо да Винчи с его стремлением познавать *«бесчисленные связи в каждом явлении»*, не могло даже и мысли появиться о несовместимости геометрической оптики и представления о волновой природе света. Необходимость рассмотрения явления в целом является одним из наиболее важных положений Научного Метода Леонардо да Винчи. Поэтому, забегая вперёд (повторение – мать учения), приведём здесь несколько малоизвестных примеров, убедительно свидетельствующих, что заключение Леонардо о волновой природе света было не случайной, мало значащей мыслью, а отражало его интерес к явлениям, которые явно находились вне области лучевой оптики.

Интерференция

Леонардо да Винчи за три столетия до Юнга и Френеля указал на общность природы таких явлений как иризирующие (переливающиеся разными цветами) перья птиц, радужные цвета на поверхности старых стёкол, на масляных плёнках на поверхности воды, на желеобразных покрытиях корней, долго пролежавших в воде. Всё это – типичные примеры интерференции.

«У многих птиц из разных стран при движении перьев образуются прекрасные цвета, как можно видеть на перьях павлинов, на шеях уток и голубей. И то же наблюдается на поверхности старых стекол, найденных под землёй, на корнях редиса, долго находившихся на дне спокойной воды, на масле, разлитом по поверхности воды». Windsor 9149 r.

Дифракция

Леонардо впервые заметил и аккуратно описал красивый эффект, который в современной научной литературе называется дифракцией на круглом отверстии:

«Глаз, глядящий на ярко освещённое тело, увидит круг, более яркий, чем окружающий воздух... Причина состоит в том, что эта яркость образуется в глазу, а не на самом деле вокруг тела, как кажется... И будет казаться, что отмеченные круги состоят из переходов различных цветов, как в радуге... По мере отхода от края покажется яркий круг, ярче, чем окружение. А за этим ярким кругом ты увидишь тёмный круг. За ним окружающий круг сохраняет небольшую яркость. Всё это ясно видно на тёмном фоне» Ms. A 80 (цитируется по [23], стр. 414).

Задачи-Леонардески

20. Оцените расстояние между центрами чувствительных элементов в глазу.

21. *«Если ночью твой глаз окажется между источником света и глазом кошки, ты увидишь, что он выглядит как огонь».* Ms. H 361 a.

Почему так происходит? Сравните с глазами других животных.

22. Оцените, на каком расстоянии рельсы кажутся слившимися.

23. Оцените величину энергии, излучаемой Солнцем в секунду, и соответствующую потерю массы. Плотность потока энергии от Солнца на орбите Земли равна 0.14 Вт/см^2.

24. Оцените соотношение между яркостью Луны в полнолуние и в фазе пепельного цвета, **Рис.30**. Вам могут понадобиться следующие параметры:

– расстояние между Солнцем и Землёй 150 млн. км;

– расстояние между Землёй и Луной 384.000 км;

– средний радиус Земли 6.370 км;

– средний радиус Луны 1.740 км;

– альбедо (коэффициент отражения) Луны 0,07;

– альбедо Земли 0,4.

Н–6. Космология

6.1. Солнце не движется

"El Sol non si muove" - «Солнце не движется». Quaderni V, 25 г.

Леонардо да Винчи сделал эту запись необычно большими буквами без каких-либо комментариев в Виндзорском Кодексе на странице с математическими заметками, **Рис.33** (См. раздел Иллюстрации). Запись относится к Миланскому периоду его жизни, то есть лет за сорок до опубликования книги Николая Коперника "De Revolutionibus Orbium Cœlestium", "Вращение Небесных Орбит». Несомненно, Леонардо придавал особую важность этому умозаключению. Он также знал, что

«Земля вращается, делая полный оборот за 24 часа». Ms. G 55 г.

Можно ли на основании этих и ряда подобных записей, трактующих относительное движение Земли, Солнца и Луны, считать Леонардо да Винчи предшественником Коперника? Историки науки отвергают такое предложение, поскольку в сохранившихся манускриптах нет однозначной формулировки о том, что Земля и планеты вращаются вокруг Солнца [71,73, 32, 52, 65,72]. Но ситуация не так проста. Для лучшего понимания направления и уровня исследований Леонардо да Винчи в области космологии следует напомнить существо основных положений общепринятой в то время системы мира Птолемея.

6.1-1. Система мира Птолемея. Коперник

Корни представлений о Земле как центре мироздания уходят в доисторические времена. Повседневные наблюдения периодического движения солнца, луны, планет и звёзд вокруг земли послужили основой для возникновения в древности у разных народов представлений о божествах, связанных с планетами, и похожих мифов о Творении. Вспомните бога-солнце Ра в Древнем Египте, солнечную богиню Аматерасу в Японии, и бога-солнце Инти в Перу. До сих пор мы называем планеты и созвездия по именам греческих богов. Бушмены в Африке молятся Луне и другим небесным телам. Шумерские жрецы ещё за три тысячи лет до нашей эры начали систематические наблюдения за небесными телами, разработали методику расчёта движения солнца, луны и планет. У Птолемея были Месопотамские данные по наблюдениям затмений с 747 г. до н.э

Знаменитый Александрийский астроном, математик и географ Клавдий Птолемей во II веке н.э. обработал все накопленные к тому времени данные астрономических наблюдений, включая наблюдения Гиппарха (II в. до н.э.), и представил в своей знаменитой книге «Альмагест» уточнённый вариант геоцентрической системы мира со специальными поправками, позволявшими предсказывать положения небесных тел с беспрецедентной точностью. В системе Мира Птолемея Земля была помещена в центре Вселенной, солнце, луна планеты и звёзды вращались вокруг неё, будучи прикреплёнными к прозрачным кристаллическим сферам. Вне сферы плането-подобных звёзд помещался некий «неподвижный движитель», поддерживающий движение системы. Предполагалось также, что пространство заполнено «эфиром», невидимой и неосязаемой средой (гипотеза «эфира» была отвергнута лишь в начале XX века). Наиболее существенной особенностью системы Птолемея по сравнению с предшественниками было предположение о характере движения планет. Начиная с Аристотеля, равномерное вращательное движение считалось идеальным, присущим именно космическим телам. Для наилучшего описания астрономических наблюдений Птолемей предположил, что каждая планета совершает сложное движение по нескольким круговым орбитам: по большому кругу (деферент) вокруг Земли и одновременно с ним по малому кругу (эпицикл) с центром, находящимся на большом круге. Более того, центры деферентов были эксцентрически смещены относительно центра Земли и плоскости деферентов каждой из планет были наклонены к плоскости эклиптики под углами, различающимися для разных

планет. Клавдий Птолемей, блестящий математик, успешно разработал математический аппарат для описания наблюдаемого движения планет, в частности, метод нахождения проекций точки на трёх ортогональных плоскостях, формулы для sin(A±B) and cos(A±B). Таблицы Птолемея для расчёта движения космических тел широко применялись в течение 1400 лет, до XVII века.

Книга "Вращение Небесных Орбит» Николая Коперника (1473-1543), великого польского мыслителя и астронома, была опубликована в 1543 году. Эта дата знаменует начало современной науки. Огромное значение работы Коперника состоит не просто в переходе от геоцентрической системы мира Птолемея к более простой гелиоцентрической системы для описания относительного движения Земли, луны и планет. Простота гелиоцентрической системы стимулировала дальнейшие исследования в направлении поиска законов, которые определяют движение космических тел. Иоганн Кеплер (1571-1630) уточнил в 1611 году на основе аккуратных астрономических наблюдений Тихо Браге (1546-1601), что орбиты планет представляют в действительности не окружности, а эллипсы с солнцем в одном из фокусов, и что радиус-вектор, соединяющий солнце с планетой, описывает равные площади за равные интервалы времени. Исаак Ньютон (1642-1727) сформулировал Закон Всемирного Тяготения на основе сравнения сил взаимодействия Земли с телом на её поверхности и Земли с Луной. Можно ли представить, чтобы Закон Всемирного Тяготения применялся бы при анализе движения планет по траекториям с эпициклами? Гелиоцентрическая система окончательно восторжествовала в 1845 году после сенсационного открытия «на кончике пера» новой планеты, Нептуна, положение которой было вычислено из наблюдавшихся отклонений около 1ʹ в движении Урана.

6.1-2. Возможные источники идеи о неподвижности Солнца у Леонардо

«Знание прошлого и положения Земли есть украшение и пища человеческого разума». C.A. 373 v.a

Да Винчи, по-видимому, никогда не проводил систематических наблюдений за движением небесных тел. Интерес к фундаментальным проблемам мироздания он мог отчасти удовлетворить информацией, получаемой из книг и от учёных, которые обладали более обширными знаниями в этой области. Можно с большой долей достоверности указать на контакты с несколькими учёными во Флоренции и в Милане, от которых Леонардо мог узнать о гелиоцентрической модели мира.

- Коперник ссылался во введении к книге «О Вращении Небесных Сфер» на нескольких античных философов, которые считали, что Земля вращается вокруг солнца и вокруг своей оси. Так, Гераклит из Понта и Экфант Пифагореец (IV век до н.э.) говорили о вращении Земли вокруг своего центра с запада на восток. Аристарх Самосский около 270 г. до н.э. первым сформулировал гелиоцентрическую теорию. Исламский астроном Ибн аль-Шатир, который работал в Дамаске, представил около 1350 г. в своей рукописи схему вращения планет вокруг Солнца, аналогичную схеме Коперника [56]. Леонардо да Винчи не владел латынью, греческим и арабским языками, но мог воспринять идеи древних и средневековых философов от своих более образованных коллег.

- Наиболее выдающимся философом из современников Леонардо был кардинал Николай Кузанский (1401-1464). Он изучал философию, науки, право, и теологию в Голландии, Германии, Италии (в Падуе и Риме). Его радикальные идеи о строении мира представлены в книге «Об учёном невежестве», написанной в 1440 и впервые опубликованной в 1489 году. Второе издание вышло в 1502 г. в Милане, когда там жил Леонардо. Кардинал Николай Кузанский настаивал на движении Земли вокруг Солнца, на бесконечности Вселенной, *«центр которой находится везде, а граница нигде»*, на множестве миров. Нижеследующее заявление из его книги звучит резко против Птолемеевской космологии, в центре которой находились Земля и человек [65]: *«Человек не может знать, является ли Земля более или менее благородной по сравнению с каким-либо другим участком Вселенной… Возможно, обитатели других звёзд развиты выше, чем мы»*.

- Паоло Тосканелли (1397 – 1482) – знаменитый Флорентийский учёный, медик, географ, астроном, который, в частности, выполнил систематические наблюдения кометы 1456 года, позднее названной ко-

метой Галлея. Сохранилось его письмо Христофору Колумбу с рекомендацией отправиться в плавание через Атлантический океан на запад. Леонардо да Винчи в период учёбы и работы во Флоренции с 1469 по 1482 год часто встречался с *«маэстро Паоло»*, так он упомянул Тосканелли в меморандуме С.А. 12 v.a. Влияние Тосканелли, знаменитого картографа ясно прослеживается в высокопрофессиональном выполнении многочисленных географических карт Леонардо (см. Windsor 12284, 12277, 12682 r). Следует подчеркнуть, что П. Тосканелли со студенческих лет дружил с Николаем Кузанским, переписывался с ним до самой смерти последнего в 1466 г. Леонардо был также хорошо знаком с Америго Веспуччи (1454-1512), сыном Флорентийского нотариуса, впоследствии знаменитым навигатором, имя которого было дано Американскому континенту. Контакты Леонардо с А. Веспуччи подтверждаются записью в его записной книжке *«Веспуччи даст мне книгу по геометрии»*. B.M. 132 v.

- Марсилио Фичино (1433-1499) – Флорентийский философ, переводчик Платона, глава так называемой Платоновой Академии во Флоренции, активный приверженец гелиоцентрической идеи [52]. Его главный труд "De lumine et sole", "Свет и Солнце" был опубликован в 1476 году.

- Интересно отметить также, что Николай Коперник изучал теологию, астрономию и медицину в Болонье, Падуе и Риме в 1497 - 1503 годах, когда Леонардо работал в Ломбардии. Так что они могли почерпнуть сведения о космологических идеях греков из одних и тех же манускриптов. По-видимому, Леонардо был знаком с Доменико ди Новара (1454-1504), практическим астрономом, активным критиком современных астрономических воззрений, признававшим движение Земли, который работал в Болонье и был учителем Коперника, или, по крайней мере, мог быть осведомлён о взглядах ди Новара через своих миланских друзей Луку Пачоли и Фацио Кардано.

Таким образом, у Леонардо да Винчи было достаточно много учителей и коллег, от которых он мог воспринять идею о неподвижности солнца.

6.1-3. Кинематическая эквивалентность геоцентрической и гелиоцентрической систем

Известно, что публикация книги Коперника «О вращении Небесных Орбит» не привела к немедленному отказу от представлений о геоцентрической системе мира. Обычно это объясняют влиянием религиозных догм. Напомним, что Джордано Бруно был сожжён на костре в 1600 году, а Галилео Галилея заставили отказаться от теории Коперника в 1616-ом. Но это не единственная причина. Как геоцентрическая система, так и гелиоцентрическая система мира предсказывали положения небесных тел фактически с одинаковой степенью точности (точнее было бы сказать – *неточности,* погрешности). И, что ещё более существенно, описания *относительного движения* небесных тел в обеих системах эквивалентны. Понятие относительности движения было вполне естественным для Леонардо. Вот пример его решения задачи об относительном поступательном движении:

«Если группа людей бежит один за другим, а навстречу им бежит другая группа с той же скоростью, и вторая группа находится между первой и наблюдателем, то скорость каждого бегуна будет казаться наблюдателю вдвое больше истинной». Madrid II, 64 v

Для Леонардо-исследователя важно, что сущность процессов в природе не зависит от системы отсчёта, в которой эти процессы изучаются:

«Когда на птицу дует ветер, она может удерживаться в воздушном потоке без взмахов крыльями, потому что действие, которое машущие крылья оказывают на неподвижный воздух, то же самое, которое движущийся воздух оказывает на неподвижные крылья». С.А. 77 r-b

«Для того, кто встал бы на Луне, когда она вместе с солнцем под нами, наша Земля со стихией воды казалась бы играющей ту же роль, что Луна по отношению к нам». Ms. F 41 v.

Может быть, именно поэтому Леонардо не стал тратить время и силы на обоснование того, что в системе небесных тел на самом деле покоится и что движется. Вместо этого он занялся исследованием других основополагающих положений о системе мира, которые могли быть подвергнуты анализу на основе точного научного знания.

6.2. «Философствование о небесных телах»

Джорджо Вазари в первом, 1550 года, издании книги об итальянских художниках, обсуждая суть философских взглядов Леонардо да Винчи, сделал особый акцент на его интересе к космологическим проблемам 112: «Философствуя о природе, он изучал свойства трав, и пошёл даже дальше, к наблюдению за движением небес, Луны и Солнца. Поэтому он сформировал в своей голове еретический взгляд на вещи, не согласующийся ни с какой религией; очевидно, он предпочитал скорее быть философом, чем христианином». В записи Вазари о *философствовании* Леонардо запечатлены сильные впечатления современников о необычных мыслях великого учёного по проблемам движения и природы небесных тел, которые не согласовывались с религиозными концепциями. Причём основывалось оно именно на логически обоснованных высказываниях Леонардо в научных дискуссиях, а не на черновых заметках в книжках, которые он вёл для себя и мало кому показывал. Кстати, *еретические* записи в книжках позднее могли быть либо изъяты благожелателями, либо в первую очередь отобраны ценителями - коллекционерами. Вазари, понимая, что так прямо сформулированное в его книге противопоставление научного разума Леонардо религии может вызвать негативное отношение всесильной Церкви к Леонардо да Винчи, убрал эту фразу из второго издания книги. Да, Церковь учила, что Человек есть Высшее творение Бога, и что Земля и звёзды созданы для Человека. Что касается природы небесных тел и их движения, Аристотель и его религиозные последователи полагали, что небесные тела совершенны и отличаются от того, что находится в подлунном мире, и что хрустальные сферы, на которых они закреплены, вращаются вокруг Земли, потому что *«такова их природа» (!)*. Задавать вопросы по этому поводу было равнозначно высказыванию сомнений в Божественном сотворении мира. Критический разум Леонардо не мог принять на веру идеи, даже если они были сформулированы в трудах античных авторов или записаны в священных книгах:

«Теперь посмотри, Читатель, можем ли мы с доверием относиться к древним, которые определили природу души и жизни, - того, что не может быть доказано, - в то время как вещи, которые из опыта всегда могут быть ясно поняты и подтверждены, остались на многие столетия неизвестными или неверно объяснёнными». С.А. 119 v.a

Любая, даже малая крупица знания, полученного из собственных наблюдений, опытов и размышлений, обладала для Леонардо значительно большей ценностью, чем так называемое книжное знание или слова авторитетов. Потому он отверг слепую веру в концепции древних о структуре мира, которые были освящены Церковью, и стал изучать структуру и свойства небесных тел теми же методами, которые он успешно использовал при изучении земных объектов, главным образом методами механики и оптики (*«Нет в астрономии ничего, что не определялось бы визуальными линиями и перспективой»*. Т.Р.7 v.).

В записных книжках Леонардо да Винчи имеется такая запись: *«Сделай стёкла, чтобы наблюдать Луну при большем увеличении»*. С.А. 190 r. Его уровень понимания геометрической оптики был, очевидно, достаточен для создания соответствующей системы из нескольких линз. И некоторые исследователи [23] предполагают, что Леонардо действительно предпринял попытки создать телескоп. Но на самом деле Леонардо не проводил систематических астрономических наблюдений. Установлено, что даже такие захватывающие явления как затмения солнца, наблюдавшиеся в Италии и Франции в 1460,1478, 1485, 1502, 1518 годах, и «ужасная и устрашающая комета 1472 года, такая яркая, что она была видна даже днём, не отмечены в его записных книжках[47]. По-видимому, у него просто не было интереса к аккуратным систематическим описаниям движения небесных тел. В течение веков астрология была главным стимулом для астрономических наблюдений. Известно, что даже через сто лет после Леонардо знаменитый немецкий астроном Иоганн Кеплер (1571-1630) был придворным астрологом императора Рудольфа II. Да Винчи не признавал астрологию и астрологов (в одном из его предсказаний говорится: *«Все астрологи будут кастрированы»*. С.А. 367 v.b.). Не имея ни инте-

реса, ни времени для изучения регулярности затмений, что являлось одной из важнейших проблем астрологии, Леонардо, тем не менее, сделал некоторые важные выводы о природе Луны именно на основе своих собственных наблюдений солнечного затмения [Ms. F 84 r., 85 r.].

6.2-1. Природа Луны

Следует напомнить, каковы были господствующие представления о природе Луны на рубеже XV-XVI веков: Луна является ближайшим к Земле небесным телом; она вращается вокруг Земли, будучи прикреплённой к прозрачной хрустальной сфере; размеры Луны невелики, она «не больше того, какой кажется»; широко распространённым было мнение, что Луна представляет собой полупрозрачный диск из материала типа алебастра. Мы можем услышать отголоски дискуссий о природе Луны и более правильно оценить значение выводов Леонардо, прочтя фрагмент из его записей, касающийся различных объяснений пятен не Луне:

«Говорят также, что пятна на Луне создаются ей самой, а именно, тем, что в некоторых её участках отличаются толщина или плотность. Если бы было так, то при затмениях солнечные лучи могли бы легче пронизывать её в участках, где у неё предполагается малая толщина. Но так как мы не наблюдаем такого эффекта, упомянутая теория ошибочна». Ms. F 85r.

Размеры Луны

Леонардо предложил использовать камеру-обскуру, его изобретение, с лучами, проходящими через малое отверстие в экране, для измерения точного размера Луны. Этот метод измерения основан на пирамидальном законе перспективы, успешно применявшимся им в рисовании и в научных исследованиях:

«Если ты знаешь расстояние до тела, ты будешь знать размер визуальной пирамиды, если ты возьмёшь её сечение вблизи глаза, а затем отодвинешь линию так, чтобы удвоить размер сечения. Затем заметь расстояние от первого до второго сечения, и спроси себя: если известно, как возрастает видимый размер Луны при заданном изменении высоты сечения пирамиды, то каким будет всё расстояние между глазом и Луной? И это будет истинное расстояние до Луны». С.А. 243 r-b.

Задача-Леонардеска

25. Решите сформулированную Леонардо геометрическую задачу. Ниже следует её несколько упрощенный вариант: Вы видите некий объект под углом α. Пройдя по направлению к объекту расстояние **X**, Вы увидите его под углом 2α. Каково расстояние **L** до объекта?

1) Выведите формулу $\mathbf{L = F(\alpha, X)}$;

2) Примените полученное решение для оценки высоты некоторого объекта (например, Вашего дома или фонарного столба);

3) Какое расстояние Леонардо должен был бы пройти, что увеличился вдвое видимый размер Луны α, как предполагалось в его методе?

Убедившись, что метод визуальной пирамиды не позволяет выполнить на практике предлагаемое измерение, Леонардо, тем не менее, пришёл к важному выводу, что расстояние до Луны не так мало, как ранее предполагалось. Этот вывод он подтверждает следующим аргументом:

«... кто бы ни смотрел на Луну, никогда не замечал уменьшения её видимого размера или расстояния до неё, и к причине этого я вернусь в Четвёртой Книге». Ms. F 4 v.

«Перспектива: ... небесные тела, когда видны на горизонте, находятся на расстоянии, большем на 3500 миль по сравнению с тем, когда они находятся над головой. Но при этом не заметно уменьшения их видимого размера». Ms. F 60 b

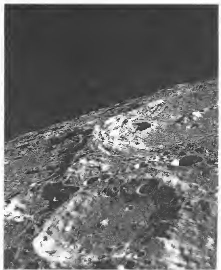
Современный человек поглощает без особых рассуждений, начиная с дошкольного возраста, огромный объём информации, и посему мы склонны недооценивать многие научные открытия античных и средневековых предшественников. Обоснованный вывод Леонардо да Винчи в начале XVI века о том, что размеры Луны и Солнца много больше, чем настойчиво учила в течение многих веков Церковь, представлял собой очень важное научное достижение.

Замечание по поводу пользы более внимательного «наблюдения за движением небес». Как отмечалось выше, Леонардо резко отрицательно относился к астрологии и не занимался аккуратным описанием движения небесных тел. Иначе он, очевидно, мог бы при его феноменальной особенности *«знать, как смотреть»* (по-итальянски это звучит более мелодично *"saper vedere"*) более точно оценить расстояние до Луны, внимательно наблюдая за ходом Лунного затмения. За время жизни он видел это красивое явление десятки раз. Аристарх Самосский ещё около 270 г. до н.э. вычислил расстояние **R** до Луны из измерения длительности полного лунного затмения **t**. Метод оценки достаточно прост: Луна движется вокруг Земли с постоянной скоростью **2π R/T**. Если считать, что диаметр тени Земли равен примерно её диаметру **2 r**, то скорость прохождения тени Земли при полном затмении **2 r/t = 2π R/T**. Наблюдаемое время затмения около 3 часов. Отсюда расстояние до Луны было оценено как **R ≈ 60 r**. После открытия Аристарха до Леонардо прошло более 1700 лет. В период мрачного средневековья античная философия в Европе была основательно позабыта, и Ренессанс начался, как это отражено даже в самом определении, с возрождения знаний, добытых в Древней Греции и в Риме. Античная культура вернулась в Европу в XV-XVI веках благодаря копиям с произведений древних классиков, выполненных в основном на арабском и еврейском языках, и комментариям в работах арабских учёных. Во времена Леонардо манускрипты, содержавшие упоминание об открытии Аристарха, ещё, видимо, не были обнаружены, или, по крайней мере, переведены.

Планета, подобная Земле

Имея в виду перечисленные в начале этого параграфа представления о Луне, которые были общепризнанными во время Леонардо, посмотрите на список выводов из его наблюдений и анализа о природе этого небесного тела:

Рис.34



• *«Луна светит не сама по себе, но потому что она освещена солнцем. И, глядя на неё, мы видим эту освещённую часть».* Arundel 94 v. Таким образом, Леонардо разделял мнение, которое было сформулировано ещё Анаксагором около 450 г. до н.э., что лунный свет есть отражённый свет от солнца.

«Луна состоит из тех же элементов, что и Земля». Отметим, что первые образцы лунного грунта были доставлены на Землю лишь в 1970 году Советской автоматической станцией «Луна-16» . На **Рис.34** показана фотография участка Лунной поверхности из коллекции НАСА. Леонардо был прав - это действительно не полупрозрачный диск, прикреплённый к хрустальной сфере, а тело, подобное Земле.

• Развивая гипотезу о сходстве между Землёй и Луной, Леонардо предположил, что там есть и вода, и насколько увлёкся в попытках подтвердить это предположение, что даже смог без телескопа *«заметить перемещение теней от облаков на её поверхности»* [Arundel 19 г.] (*когда что-то очень хочется, не всегда срабатывает самоконтроль, внутренние тормоза* – см. главу V. Ошибки Леонардо, раздел 5.2 в). По-видимому, одним из обычных тезисов оппонентов в дискуссиях о структуре мира было утверждение, что поверхность небесных тел представляет собой идеальную сферу (см. Ms. F 86 г.). Возражение Леонардо против этого тезиса основывалось на его исследованиях процесса отражения света. В земных условиях отражение солнечных лучей от гладкой поверхности воды в безветренную погоду создаёт дискретное изображение солнца, такое же, как в зеркале. Если же на поверхности воды имеются волны, образуется *до-*

рожка, диффузное отражение. Именно так Леонардо обосновывал предположение о наличии морей на Луне. Следует заметить, что невозможность удержания атмосферы на Луне, а, следовательно, и паров воды, была объяснена лишь Больцманом в конце XIX века малой величиной её ускорения свободного падения.

- Луна обладает собственным тяготением (см. раздел **5.3**).

- Леонардо да Винчи первым указал на особенности теплового режима на Луне по сравнению с условиями на Земле:

«На Луне каждый месяц зима и лето. И там гораздо сильнее холода и сильнее жара». C.A. 303 v-b. C.A. 303 v.b.

Действительно, на освещённой Солнцем части Луны температура достигает +1000°С, на неосвещённой –1800°С. Район, прилегающий к Северному полюсу Луны, постоянно освещён Солнцем, там сохраняется стабильная температура -500°С. По-видимому, именно там в недалёком будущем будет организована первая исследовательская станция. Интересно отметить, что через четыреста лет после Да Винчи К.Э.Циолковский, обсуждая проблемы полёта на Луну, высказывал предположение о наличии большой разницы температур между освещённой и неосвещённой поверхностями больших камней на Луне из-за отсутствия атмосферы.

- Леонардо верно предсказал, что наблюдатель, находящийся *«выше атмосферы»*, то есть в безвоздушном пространстве будет видеть звёзды на небе в дневное время:

«Звёзды видны ночью, но не днём потому, что плотная атмосфера полна неисчислимым количеством частиц влаги /по Леонардо, именно они играют определяющую роль в рассеянии света – причине голубого цвета неба [Hammer 4A-4r]/. *Каждая из них вспыхивает, когда на частицу падает луч солнечного света, и неисчислимые светящиеся частицы вуалируют звёзды; если бы не было атмосферы, на тёмном небе всегда видны были бы звёзды».* Ms. F 5v.

- Рассматривая различные относительные положения Солнца, Земли и Луны, Леонардо впервые показал, что пепельный свет тёмной части Луны происходит от солнечных лучей, отражённых от поверхности Земли, **Рис.30**:

«Когда на Луне ночь, она видит свет Земли...Ночью Земля обделена солнечным светом, она получает лишь солнечные лучи, отражённые от луны». Ms. F 64 v.

Столетием позже то же объяснение света тёмной части Луны бы дано Мэстлином, учителем Кеплера.

6.2-2. Природа и роль Солнца

Ниже следует в конспективном виде перечень концепций Леонардо о Солнце:

- Расстояние до Солнца. Как и в отношении Луны, Леонардо подчёркивает необходимость определения расстояния между Солнцем и Землёй:

«Сначала мне нужно определить расстояние от Солнца до Земли, и найти его истинный размер, рассмотрев лучи, прошедшие через малое отверстие в тёмном месте». Hammer 1 A - 1r

Он не мог таким способом измерить расстояние до Солнца, но, тем не менее, пришёл к выводу, что оно значительно больше Земли. Это ясно видно хотя бы из относительных размеров Солнца, Луны и Земли на рисунке из Кодекса Хаммера, где он обсуждает природу пепельного света Луны.

- *«Свойства Солнца:*

Солнце материально, имеет форму, движется, изучает свет, тепло и генерирует энергию; и всё это оно излучает без уменьшения». C.A. 270 v.a.

Леонардо да Винчи получил обоснованные данные о природе Солнца, применив методы оптики:

«Некоторые говорят, что Солнце не горячее, потому что оно не имеет цвет огня, а более бледное и светлое. На это я могу ответить, что, когда бронза нагрета очень сильно, она близка по цвету к Солнцу, а, когда она менее горячая, её цвет ближе к цвету огня». Ms. F 34 v

- *«Солнце греет своим естественным теплом».* Ms. F 85 v.

Леонардо пришёл к этому заключению на основании опытов по исследованию тепловых эффектов света. Этот вывод звучит твёрдо и вызывающе для XVI века, потому что за ним естественным образом следует следующий вопрос: «А какова природа этого тепла?». Говорят, что задача сформулированная уже наполовину решена, но для получения ответа может понадобиться много времени и усилий. Проблема эта была вновь поставлена в конце XIX века после обнаружения эквивалентности между разными видами энергии. Интересно посмотреть на последовательные подходы учёных к решению проблемы. В 1848 г. Ю. Майер (1814-1878) рассчитал, что солнце остыло бы за 5000 лет при отсутствии источника энергии и предположил, что оно нагревается за счёт постоянного падения метеоритов. Но его модель была отвергнута вскоре после оценок необходимого потока метеоритов, соответствующего изменения массы солнца и его углового момента. В 1854 г. Г. Гельмгольц (1821-1894) предположил, что солнце нагревается за счёт адиабатического сжатия. Оценки, выполненные С. Ньюкомбом, показали, что в соответствии с этой моделью излучение солнца могло бы быть обеспечено в течение примерно 10 млн. лет до и примерно такого же периода после настоящего времени, что не согласуется с данными о геологической истории земли. Реальный механизм источника тепла солнца был понят лишь в начале XX века после выяснения происходящих на нём ядерных превращений.

Леонардо да Винчи ясно понимал определяющую роль Солнца в поддержании жизни на Земле:

«Всё жизненное начало исходит из Солнца, так как тепло в живых существах происходит от него». Ms. F 5r

Он пошёл даже дальше и предположил, что Солнце является самым большим горячим телом в мире: *«Я не думаю, что во всей Вселенной есть тело, большее и более горячее, чем Солнце, и его свет освещает все небесные тела, которые распределены во Вселенной...».* Ms. F 4v.

Между прочим, это ошибочное мнение Леонардо да Винчи подтверждает независимость его исследований от ближайшего великого предшественника – Николая Кузанского (1401-1464), который говорил о бесконечности Вселенной и о множестве миров.

6.2-3. Хрустальные сферы?

«И создал Бог два светила великие: светило большее, для управления днём и светило меньшее, для управления ночью, и звёзды;
И поставил их Бог на тверди небесной, чтобы светить на землю.
И управлять днём и ночью, и отделять свет от тьмы». Библия, Бытие 16-18

Идеальные хрустальные сферы, к которым прикреплены солнце, луна, планеты и звёзды и которые вращаются вокруг Земли некоим движителем, находящимся за сферой звёзд, были важной частью структуры мира, общепринятой в течение многих веков. В сохранившихся манускриптах Леонардо да Винчи имеется лишь одна запись, в которой методы точных наук применены для анализа природы сфер:

«О трении небес, производит ли оно звук или нет? Всякий звук причиняется воздухом, ударяющимся о плотное тело, и если оно будет производиться двумя тяжёлыми телами совместно, то это произойдёт благодаря воздуху, который их окружает; и такое трение стирает движущиеся тела. Отсюда следовало бы, что небеса при своём движении, не имея между собой воздуха, не произвели бы звука. И если бы такое трение существовало в самом деле, то за столько столетий, в течение которых эти небеса вращаются, они были бы истёрты столь огромной быстротой, совершавшейся изо дня в день... И если эти небеса не были отполированы, они будут бугристы и шероховаты; поэтому соприкасание их не сплошное, а если так, то образуется пустота, о которой сделано заключение, что её в природе не существует /Леонардо повторяет тезис Аристотеля – М.М./. Итак, следует, что трение стёрло бы границы каждого неба, и насколько быстрее движется небо у середины, чем у полюсов, настолько быстрее оно стиралось бы у середины, нежели у полюсов...». Ms. F 56 v

Утверждения правильны с позиций природы трения, но не уважительны по отношению к хрустальным небесным сферам, тем более что к небесным творениям Бога, по определению, не применимы законы, действующие на Земле.

Находится эта запись в Кодексе F, написанном в 1508-1509 г., на завершающем этапе научных исследований Да Винчи, и постановка вопроса принадлежит не самому Леонардо, а, по предположению В.П. Зубова [9], обнаруживает большую близость к сочинению Ристоро д'Ареццо «Строение мира», 1282 г.

Таким образом, по Леонардо, мир состоит из «холодной звезды» - Земли, земле-подобной Луны, нескольких планет и огромного и очень горячего Солнца, которое «греет своим природным теплом» [Ms. F 85 v.]. Убрав Землю с господствующего места в космической иерархии, Леонардо да Винчи в своей системе представлений возвёл на престол Солнце. Что касается звёзд, плането-образных тел, которые, согласно средневековым представлениям находятся от Земли значительно дальше, чем планеты, Леонардо не добавил при обсуждении их природы каких-либо новых аргументов, за исключением тезиса, что некоторые из них во много раз больше Земли [Ms. F 5 r.]. В картине мира, построенной Леонардо да Винчи на основе выяснения природы космических тел, как-то не осталось места для хрустальных сфер. Ведь Луна тяжёлая, а Солнце огромное, а, кроме того, и очень горячее (Леонардо хорошо знал из опыта, что стекло плавится при высокой температуре). И, наконец, если Солнце не движется и центр Земли не является Центром Мира, то вокруг чего должны вращаться хрустальные сферы? Видимо, поэтому он и не формулирует такое очевидное заключение в качестве особого вывода. А, может быть, если такая запись и была, то не сохранилась (ведь ¾ его манускриптов утеряно). Одним из последних упоминаний о хрустальных сферах небес, удерживающих планеты и звёзды, было возражение Тихо Браге против их существования, основанное на определённой методом параллакса траектории движения кометы 1577 г.

На основе проведённого анализа мы можем заключить, что Леонардо да Винчи **имел свои собственные обоснования в поддержку концепции, что «Солнце не движется»**.

6.3. Гравитация

6.3-1. Почему Луна не падает?

"La Luna e densa, ogni denso e grave, come sta la Luna"? Ms. K 1 r

Этот фрагмент довольно плохо сохранился в оригинале. Карло Педретти 87 считает, что читать его следует именно так: *«Луна – плотное тело. Любое плотное тело имеет вес. Почему Луна не падает?»* Хотя более известна другая, не совсем точная, но поэтическая версия этой фразы:

"La Luna densa e grave, densa e grave, come stai la Luna?"

«Come sta», с глаголом в третьем лице, по-итальянски дословно означает «как стоит, не падает». Различие в одной букве come stai, с глаголом *stare* – стоять, жить, быть – во втором лице, переводится либо «как стоишь, не падаешь?», либо как «как поживаешь?» (эквивалент английского «How are you?»). Мне второй вариант нравится больше. Он даёт возможность почувствовать поэтическую душу великого Флорентинца. В яркую лунную ночь, когда всё вокруг спит, произнесите или лучше пропойте эту фразу, глядя на Луну и представляя себе как Леонардо, который сидит ночью за столом, записывает в тетрадь свои мысли, в то время как в окно заглядывает луна, его постоянный партнёр в бессонные ночи. Я хочу закончить это лирическое отступление, написанное тоже в ночное время, напомнив, что согласно Леонардо, *«воистину, большая любовь рождается от большого знания того, что любишь; и если ты не знаешь чего-то, ты не можешь любить его, или можешь любить лишь немного»*. T.P. 77.

Ответ на вопрос «Почему Луна не падает?» дал Исаак Ньютон (1642-1727) через двести лет после Леонардо. Интересно отметить различие в подходе двух величайших учёных к проблеме взаимодействия Луны с Землёй. Исаак Ньютон (1642-1727) пришёл к формулировке Закона Всемирного Тяготения $F = GM_1M_2/R^2$, сравнивая взаимодействие в системах Земля – Луна и Земля – тело на её поверхности. Согласно, автору «*Математических Начал* Натуральной философии», центростремительная сила, которая вызывает движение Луны вокруг Земли по круговой орбите радиуса $R_{зл}$, определяется как

$M_л V_л^2/R_{ЗЛ} = G M_з M_л/R_{зл}^2$. Здесь использованы стандартные обозначения: $M_л$ – масса Луны, $M_з$ – масса Земли, $V_л$ – скорость движения Луны по орбите, $R_з$ – радиус Земли, $R_{зл}$ – расстояние между центрами Земли и Луны, G – константа всемирного тяготения.

С другой стороны, вес тела массы m на поверхности Земли равен $mg = G M_з m/R_з^2$.

Исключая неизвестные величины G и $M_з$, Ньютон получил теоретическое соотношение $V_л^2 R_{зл} = g R_з^2$ между известными параметрами, которое выполнялось с очень высокой точностью. Формально-формульно говоря, приведённый выше анализ показывает, что предложенная формула гравитационного взаимодействия описывает **силу взаимодействия Земли** с телами, находящимися на любом расстоянии от её центра. Ньютон предположил, что та же **формула** описывает гравитационное взаимодействие любых тел («Закон ***Всемирного*** Тяготения»).

Леонардо да Винчи не мог ответить на поставленный им вопрос «**Почему** Луна не падает?», но на основе наблюдений и анализа пришёл к заключению, что Луна удерживает тела на своей поверхности посредством тяготения, и, следовательно, что гравитация присуща не только Земле.

6.3-2. Собственное тяготение Луны

Леонардо да Винчи жил и работал в период развития науки, когда перед учёными стояла задача установить причины наблюдаемых явлений, опираясь на наблюдения и логический анализ. Из-за отсутствия достаточного количества достоверных измерений описание обнаруженных зависимостей между существенными параметрами явлений проводилось обычно либо просто словесно, либо простейшими математическими соотношениями, такими как пропорциональность или квадратичный («пирамидальный») закон.

Представленный ниже набор тезисов из программы Леонардо по исследованию природы Луны представляет собой фактически цепь аргументов, ведущую к выводу о существовании собственного тяготения на Луне:

«Для трактовки природы Луны необходимо описать...

Ничто, являющееся предельно лёгким, не является непрозрачным.

Ничто более лёгкое не остаётся ниже менее лёгкого.

Находится ли Луна по отношению к своим элементам в таком же состоянии как Земля. Если она не находится в таком же особом состоянии как и Земля, то почему она не падает к центру наших элементов.

Если Луна не находится в центре её элементов и не падает, она должна быть легче, чем другие элементы.

Но если бы она была легче, чем другие элементы, почему она твёрдая и непрозрачная»? Arundel 94 r.

На основе этих аргументов Леонардо приходит к заключению, что объекты на лунной поверхности тяготеют к центру Луны:

«Здесь кое-кто возражает против того, что моря, которые, как мы доказали, существуют на Луне, тяготеют к центру Луны, также как наши моря тяготеют к центру Земли. По-видимому, это должно быть так, поскольку Луна окружена её элементами, также как и Земля окружена своими элементами; потому что, если бы это было не так, вода покинула бы Луну, упала на Землю и соединилась с нашими морями. И не только вода с Луны, но и сама Луна упала бы вниз вместе с её водой как тяжёлое тело по направлению к центру мира. Поскольку этого нет, Луна должна иметь своё установленное место и должна быть окружена её элементами». Hammer 2B-2v

Полагаю, непредубеждённый читатель не будет делать акцент в предыдущем тексте на предположение Леонардо по поводу лунных морей. По сути, он говорит о том, что **все объекты** *(элементы)* на поверхности Луны чувствуют её тяготение. Между прочим, мы до сих пор используем названия лунных морей, происходящие от старых Латинских наименований, таких как *Oceanus Procellarum, Mare Nubium, Mare Tranquillitatis* (именно там Нейл Армстронг и Эдвин Олдрин впервые в истории человечества ступили на поверхность безоблачной Луны).

В цитированной выше записи Леонардо да Винчи содержатся два важных заявления. Первое - о том, что Луна имеет своё определённое место в пространстве. Чем определяется это место, объяснил И. Ньютон. Второе заключение, о том, что Луна обладает своим собственным тяготением, независимым от земного тяготения, было сильным ударом по вере в моноцентрическую систему с гравитацией, присущей лишь центру мира. Согласно [87], итальянский исследователь Филиппо Арреди впервые, в 1932 году, первым указал на выдающееся значение этого научного результата Леонардо да Винчи. Это достижение Леонардо заслуживает упоминания как в специальной литературе, так и в школьных учебниках.

6.3-3. Центр Земли. Центр Вселенной?

Логика исследования тяготения привела и Леонардо, и Ньютона к детальному анализу ещё одной проблемы особой важности, а именно, к изучению проблемы взаимодействия распределённых масс. Известно, что И. Ньютон надолго задержал опубликование своих исследований по гравитации, потому что он не мог рассчитать силу взаимодействия Земли с телом на её поверхности. Необходимость решения такого типа проблем вызвало развитие интегрального исчисления. Решение задачи было дано значительно позднее знаменитым немецким математиком Карлом Ф. Гауссом (1777-1855).

Леонардо да Винчи решил впервые проблему не меньшего значения, связанную с вопросом о положении центра тяготения Земли. В своих записях он неоднократно возвращался к обсуждению существовавших в то время представлений о нескольких важных центрах Земли: Центре Мира, Центре тяготения Земли, Геометрическом Центре Земли, Центре сферы воды.

Записи, сохранившиеся в Кодексе Хаммера и в Манускрипте F, позволяют проследить ход его мысли. Согласно представлениям средневековых философов, основывающимся на «Книге Бытия» Ветхого Завета, Земля является главным небесным телом, и центр Земли является Центром Мира. Этой и только этой «особой точке» приписывалось свойство тяготения. На начальной стадии изучения проблемы Леонардо да Винчи придерживался общепринятых представлений об эффектах, связанных с Центром Мира, и искал им естественнонаучные подтверждения. Во-первых, это стремление каждого свободного тяжёлого тела, не имеющего опоры, двигаться по направлению к этой точке. Суть определения Центра Мира Леонардо пояснял на примере наглядного мысленного эксперимента:

«Если оказалось бы возможным удалить Землю с её места и оттащить в сторону так, чтобы Центр Мира остался довольно далеко от Земли, и ты дал бы возможность камню падать в том воздухе, который располагается между Центром Мира и центром Земли, то нет никакого сомнения, что этот камень опустился бы к Центру Мира по кратчайшему пути». C.A. 153 v-a

На первом этапе исследования посредством анализа, как мы сегодня сказали бы, гравитационного взаимодействия распределённых масс, Леонардо пришел к заключению о едином центре тяжести земли и воды на Земле, **Рис.35**:

Рис.35

«a – центр тяжести земли; m – центр тяжести воды; n – общий Центр Мира. Следовательно, рассматривая воду и землю как одно тело, мы можем сказать, что имеется только один центр, общий с Центром Мира». Madrid I, 6 r.

Идея о том, что Луна имеет собственное тяготение, была основана на аналогии между Луной и Землёй. Можно сказать, что цитированное выше заключение о совпадении совместного центра тяжести земли и воды с тяготеющим Центром Мира представляет собой пример «обратной связи», то есть приход к ясному и обоснованному уточнению существовавших представлений о Земле на основе полученного нового знания.

Подводя итог «философствованию» Леонардо о природе космических тел, можно представить результаты его анализа в виде следующей цепочки научно обоснованных выводов:

1. Солнце – звезда, много большее, чем Земля, источник жизни. Солнце не вращается вокруг Земли. ⇒ 2. Луна – небесное тело, подобное Земле. ⇒ 3. Вода и камни с Луны не падают на Землю. Значит, Луна удерживает их собственным тяготением. ⇒ 4. Если тяжёлая Луна обладает собственным тяготением, то и не менее тяжёлая Земля также должна обладать собственным тяготением. ⇒ Но тогда нет надобности в гипотезе, что в центре Земли находится некая особая точка, обладающая свойством тяготения и называемая Центром Мира! ⇒ И Леонардо да Винчи твёрдо заявляет:

«Земля находится не в центре солнечной орбиты и не в центре мира, а в центре стихий своих, ей близких и с ней соединённых; и для того, кто встал бы на Луне, когда она вместе с солнцем под нами, наша Земля со стихией воды казалась бы играющей ту же роль, что Луна по отношению к нам». Ms. F 41 v.

Конечный вывод из размышлений Леонардо да Винчи о тяготении, отвергающий религиозную веру в то, что Земля является Центром Вселенной, записан в Манускрипте F, датируемом 1508-1509 г., то есть несколько позже, чем Кодекс Хаммера, составленный в 1506-1508 г. Среди сохранившихся записей Леонардо да Винчи нет и не могло быть формулы типа Закона ***Всемирного*** Тяготения Ньютона. Но цитируемые ниже проблемы из сборника F убедительно свидетельствуют о его убеждённости в том, что свойство гравитационного притяжения присуще всем массам. По-видимому, ему принадлежит первенство в формулировке фундаментальной задачи о гравитационном взаимодействии трёх тел:

«Если дано, что два земных тела, окружённых свои стихиями /вода, воздух, огонь/, соприкасаются, то какую форму примут эти стихии в местах своего соприкосновения?

Если даны центры двух миров, весьма друг от друга удалённые, и дан однородный груз, центр тяжести которого одинаково удалён от названных двух центров, и если этому грузу дана возможность падать, каково будет его движение?

Он пойдёт, долгое время перемещаясь таким движением, при котором каждая часть его пути всегда будет одинаково отстоять от обоих центров, и, наконец, остановится на одинаковом расстоянии от них, в самом близком от них месте на линии своего движения. И таким образом подобный груз не приблизится ни к тому, ни к другому центру обоих миров». Ms. F 83 v.

Несомненно, весомость постановки последней проблемы намного перекрывает ошибку, которую допустил Леонардо при её бесформульном анализе.

Следует отметить, что, отвергнув представление о том, что свойство тяготения присуще лишь некоей особой точке – Центру Мира, Леонардо был вынужден вместе с тем убрать из весьма ограниченного числа фундаментальных научных концепций не менее важную модель горообразования на Земле. Модель эта была предложена Буриданом (1295-1358) в «Комментариях к книге «О небесах» Аристотеля». Жан Буридан, французский логик (до сих пор популярно выражение «Буриданов осёл», хотя можно заметить, что в оригинальном тексте была собака с двумя одинаковыми кусками мяса) и философ, вне всякого сомнения, должен быть отнесён к числу гигантов до-Ньютоновской науки. Его теория импульса – величины, пропорциональной массе и скорости, которая сообщается телу движителем и удерживает тело в состоянии движения, лежит в основе механики. Леонардо да Винчи хорошо знал работы Буридана и неоднократно ссылался на них.

Вот как модель роста гор на суше, предложенная Буриданом, звучит в изложении Леонардо:

«Центр тяжести Земли изменяется вследствие перемещения грунта водой туда, где его не было; там тяжесть увеличилась, а откуда удалилась – уменьшилась. Это ясно видно из того, что реки всегда несут с собой грунт, который их замутняет, вплоть до моря; такое странствие совершила вся земля, ушедшая из горных долин и речных русел.... Та часть Земли, по которой прошло большее скопление вод, сделалась более лёгкой и более удалилась от Центра Мира». Hammer 10A-10r

То есть, горы на суше растут за счёт необходимости сохранять положение Центра масс Земли в Центре Мира. Очевидно, Леонардо было нелегко отказаться от такой наглядной модели горообразования, притом единственной в то время и вплоть до начала XX века, когда А. Вегенер предложил теорию континентального дрейфа и когда стал ясен источник внутреннего тепла Земли. Однако, *Буридан был и останется Буриданом, но … истина дороже!*

Задачи-Леонардески

26. Каково будет Ваше решение сформулированной выше задачи Леонардо о движении тела в поле тяготения двух звёзд?

27. Ракета массы **M** зависла над поверхностью земли. Сколько топлива в единицу времени она должна расходовать при этом, если скорость истечения газа **u**? Как изменится результат, если ракета поднимается с ускорением **a**?

28. Оцените энергию, излучаемую Солнцем за секунду и соответствующую потерю его массы. Плотность потока энергии солнечного излучения на орбите Земли равна 0,14 вт /cm ^{2}.

29. Какой была бы ожидаемая величина Вашего рекордного пружка в высоту на Луне? (Предупреждение: широко распространённое мнение, что высота прыжка на Луне возрастает в 6 раз по сравнению с прыжком на Земле, ошибочно).

В завершение раздела отметим, что именем Да Винчи названы кратеры на Луне (долгота 315° E, широта 9.1° N, диаметр 37 км, небольшой, старый и нефотогеничный) и на Марсе (долгота 320.6° E, широта 1.4°

N, диаметр 100 км, **Рис.36**(См. в разделе Иллюстрации)). Кратер Да Винчи на Марсе рассматривается в качестве одного из наиболее удобных мест для организации обитаемой станции в не очень далёком будущем.

Н-7. Земля как живой организм

А не то дорого знать, что Земля круглая,
а то дорого знать, как дошли до этого.

Л. Н. Толстой

Суть восприятия Леонардо планеты, на которой мы живём, ясно сформулирована в образной картине:«*Ничто не родится там, где нет жизни чувствующей, растительной и разумной: перья у птиц вырастают и меняются каждый год, шерсть у животных растёт и меняется, за исключением некоторых частей, ежегодно; травы растут на лугах и листья на деревьях и обновляются ежегодно. Потому мы можем сказать, что у Земли есть дух роста, и что плоть её – почва, кости – слои камней, которые образуют горы; связки – туфы; кровь её – водные жилы; заключённое в сердце озеро крови – океан; дыхание, приток и отток крови при биении пульса есть то же, что у Земли прилив и отлив моря; а жизненное тепло мира – огонь, который разлит в земле. Местопребыванием же духа роста являются огни, которые по различным местам источаются в минеральные бассейны, в серные шахты и вулканы, - как вулкан Этна в Сицилии и в других местах*». Hammer 3B-34 г.

Н-7.1. Общепринятые представления о Земле в XV веке

Форма земли и её размер. Леонардо отмечает как общеизвестный факт, что «диаметр земли составляет семь тысяч миль» Hammer 2A–35v, то есть около 12.500 км. Греческий математик Эратосфен оценил размер земли ещё в III веке н.э. Он узнал, что в Асуане лучи солнца в полдень отражаются от дна глубоких колодцев, и измерил, что в Александрии, находящей на 800 км к северу от Асуана, в то же время угол падения лучей составляет 7° с вертикалью. Простая оценка позволила ему получить диаметр земли. По-видимому, Леонардо мог узнать об этом от знаменитого Флорентийского географа Паоло Тосканелли. Повторим (для того, чтобы молодые читатели запомнили имя Тосканелли), что и генуэзец Христофор Колумб, и флорентинец Америго Веспуччи следовали указаниям Тосканелли в своих путешествиях, которые привели к открытию Нового Света.

Картография. Влияние Тосканелли, блестящего картографа, ясно просматривается в выполненных Леонардо нескольких картах очень высокого качества, которые находятся в Мадридском и Атлантическом Кодексах. Составление карт было частью его профессиональных обязанностей во время службы в Милане, во Флоренции и во Франции в качестве гражданского инженера, ответственного за решение проблем ирригации, сооружение плотин и каналов, строительство крепостей [34, 63]. Некоторые из его проектов были реализованы либо ещё при его жизни (как, например, при строительстве замка Шамбор во Франции) или позднее (осушение болот в Италии в 1930-х годах). Его карта, **Рис.37**(См. раздел Иллюстрации), Windsor 12686, крепости Имола, недалеко от Болоньи, считается «наиболее аккуратной и прекрасной картой того времени» [34]. Леонардо рисовал свои карты на основе комбинации измеренных расстояний между объектами (его черновые измерения Имолы также сохранились в Виндзорском собрании) и измеренных углов из фиксированной центральной точки - башни в центре города. Этот метод был предложен ранее Леоном Батиста Альберти в манускрипте "Ludi mathematici" 1450 г. , см. [34].

Важные факторы изменений на земле. Леонардо да Винчи правильно понимал, что вода и «*внутренний огонь земли*» определяют наиболее важные процессы, ответственные за изменение её рельефа со временем. Он детально изучил различные аспекты роли воды в изменениях на земле. Но информация о тектонических процессах в то время была очень ограниченной, и Леонардо недооценил роль внутреннего тепла. В частности, он считал, что землетрясения происходят в результате захлопывания гигантских каверн, которые образуются мощными подземными потоками от океанов к вершинам гор [C.A. 289 v-b., 309 v-a.].

Н-7.2. Микрокосм и макрокосм

Представление Леонардо о земле как живом организме, несомненно, происходило от работ античных авторов, главным образом, от Аристотеля и Сенеки. Аристотель предложил в *«De Caelo et Mundo»* аналогию между **макрокосмом** – телом земли и **микрокосмом** – телом человека. В Средние Века это была не просто некая идея. Она была фундаментальной концепцией о структуре мира, верой, которая была освящена авторитетом церкви. Аналогия между Человеком и Землёй оказалась также очень созвучной духу человека Ренессанса. Леонардо да Винчи был активным приверженцем этой концепции, пытался обосновывать, уточнять и развивать её:

«Древние называли человека малым миром, - и, бесспорно, название это справедливо, ибо как человек, так и тело Земли, состоит из земли, воды, воздуха и огня. Если в человеке есть кости, служащие ему опорой, и покровы из мяса, так и Земля имеет скалы, которые служат опорой для почвы. В человеке есть озеро крови там, где легкое расширяется и сокращается при дыхании, - у тела Земли есть свой океан, который также растёт и убывает каждые 6 часов при дыхании мира; если от названного кровяного озера берут начало жилы, которые, ветвясь, расходятся по человеческому телу, то точно также и океан наполняет тело Земли бесконечными водными жилами. В теле Земли отсутствуют сухожилия, которых нет потому, что сухожилия созданы для движения, а так как мир находится в постоянном равновесии, то движения в нём нет, и сухожилия не нужны. Но во всём прочем они весьма сходны». Ms. A. 54 v.

Можно заметить, что Станислав Лем в фантастической повести «Солярис» добавил к этому списку отсутствующий существенный элемент – высокоразвитый мыслящий океан.

Одним из наиболее важных элементов аналогии между макрокосмом и микрокосмом было объяснение происхождения воды, текущей с гор и дающей начало рекам. По-видимому, Леонардо воспринял эту мысль от римского философа Луция Сенеки (4 до н.э. - 65 н.э.): *«Идея возникла у меня, что Земля управляется Природой во многом подобно системе человеческого тела, в котором имеются сосуды для крови и сосуды для воздуха. В Земле также имеются пути, по которым бежит вода, и пути, по которым проходит воздух. И Природа придаёт этим путям форму, настолько сходную с человеческим телом, что наши предшественники назвали их «венами» для воды… Как в нашем теле, когда вена порезана, из неё сочится кровь, так и в Земле, когда вены открыты или нарушены, из них вытекают ручьи или реки»* (Seneca, Naturales Quastiones, III,14-15, цитируется по [68]). Для Леонардо да Винчи эта проблема представлялась особо важной потому, что водяные мельницы были наглядным примером существования в природе вечно работающего двигателя. Потому он не мог удовлетвориться чисто описательным объяснением происхождения воды с гор и пытался найти убедительное научное обоснование тому, как вода появляется на вершинах гор. Анализ различных моделей затянулся на 20 лет, прежде чем он смог прийти к правильному выводу о том, что источники на горах происходят от снега, дождя и конденсации влаги на холодных камнях. Мы подробно рассмотрим его многократные подходы к решению столь важной проблемы позднее в главе V “Ошибки Леонардо”.

Просматривая этот раздел при окончательном редактировании книги, я сделал небольшое добавление. Идея об аналогии между Человеком и телом Земли, которая была отмечена ещё Аристотелем, разделялась и развивалась затем мыслителями в течение многих веков, является, по существу, гораздо более глубокой и отражает связь между венцом Природы - Человеком и Космосом. Эта идея была заложена в основание представлений о сотворении Мира и Человека в далёкой древности людьми в различных регионах от Месопотамии и Египта до Центральной Америки и Полинезии.

Впервые *научную гипотезу* о влиянии Солнца на земные процессы высказал знаменитый английский астроном Вильям Гершель (1738-1822). Сопоставив небольшое число наблюдений над количеством солнечных пятен с колебаниями цен на зерно, он заключил, что Солнце каким-то образом влияет на погодно-климатические условия Земли, а значит и на урожайность. В XX веке многие учёные и мыслители вернулись к этой идее. Влияние процессов на Солнце на особенности органической жизни и даже на жизнь человека и общества было в 1920-30-х годах убедительно показано в работах А.Л.Чижевского (1897-1964), основателя гелиобиологии. Международный конгресс по биофизике и космической биологии, проходивший в 1939 году в

Нью-Йорке, избрал его одним из своих почетных председателей. Он же выдвинул кандидатуру Чижевского на соискание Нобелевской премии, отметив при этом, что многогранная научная, литературная и художественная деятельность ученого дает основание характеризовать его как «Леонардо да Винчи XX века». Но вместо Нобелевской премии великий русский учёный получил более десяти лет ссылки в Караганду.

Идеи глубокой связи духовной жизни человека с космическими силами были развиты также в философских работах выдающегося русского художника Николая Рериха (1874-1947), (см. «Листы Дневника», 3 т., М.. 1995 - 96).

Н-7.3. Морские раковины в горах. Палеонтология

Находки окаменелых раковин на большом расстоянии от моря довольно часты в Италии. Леонардо отмечал, что *«в Александрии делла Пальи в Ломбардии нет другого материала для производства извести кроме камней, образованных из бесчисленного количества предметов, присущих морю; но теперь она находится на расстоянии более двухсот миль от моря».* Hammer 10 B-10 v. Конечно, такие находки не могли не привлекать внимание и вызывать попытки объяснить их происхождение. Во времена Леонардо существовало даже два объяснения их присутствия на больших расстояниях от моря. Согласно первому, предполагалось участие Неба в их создании. Согласно второму, присутствие морских раковин на горах рассматривалось как подтверждение Библейского Потопа.

Происхождение морских раковин в горах. Несомненно, интерес Леонардо к этой проблеме исходил из его собственных наблюдений. Его глаз обладал обостренной способностью заметить нечто важное и представляющее интерес для исследования в «вещах, которые другие уже видели и отвергли как не стоящие внимания». Заметки по проблемам происхождения раковин на горах, собранные главным образом в Кодексе Хаммера и в манускрипте Ms.F, позволяют услышать отзвук бурных дискуссий между Леонардо и его оппонентами, которые слепо верили словам авторитетов.

«Если ты скажешь, что такие раковины создавались и теперь создаются в этих местах природой этих мест и посредством действия небес, такое мнение не может существовать в голове, обладающей хоть какой-то способностью рассуждать, потому что годы их роста запечатлены на раковинах, и они не могли расти без пищи и без движения». Hammer 9B-9v

Обратите внимание на его слова о необходимости при анализе явлений рассуждать, искать естественные причины явлений, а не приводить формальные объяснения, взятые из книг. Это было одним из основных требований его научного метода. Леонардо да Винчи понимал, что опасно даже простое сомнение в том, что раковины на горах явились результатом Всемирного Потопа. Потому аргументы, выдвигаемые против такого объяснения, должны были быть обоснованы предельно аккуратно, а выводы должны были бы быть ясными и убедительными:

«В этой своей работе ты должен прежде всего показать, что раковины, находящиеся на высоте в тысячу локтей, не были туда занесены потопом, ибо мы их видим на одном и том же уровне, а много гор поднимается выше этого уровня. И нужно поставить вопрос, произошёл ли потоп от дождя или от переполнения моря, а потом показать, что ни под влиянием дождей, увеличивающих количество воды в реках, ни посредством вздутия моря раковины, как вещи тяжёлые, не могли быть пригнаны морем на горы и не могли быть увлечены реками против течения их вод». Hammer 3A-3 г.

Но, может быть, раковины могли попасть на те места, где их теперь находят, следуя за поднимающейся береговой линией? Простая оценка позволяет Леонардо убедительно отвернуть и этот вариант объяснения присутствия раковин на горах:

«...моллюск сердцевидка не плавает, а ползёт, оставляя борозду в песке, и перемещается со скоростью 3-4 локтя в день. Следовательно, двигаясь так медленно, он не мог бы пройти от Адриатического моря до Монферрато в Ломбардии – расстояние в 250 миль за 40 дней, как сказал тот, кто регистрировал это время». Hammer 8B-8 v.

Более подробно анализ раковин, найденных в Ломбардии, их природы, состояния, структурных особенностей, особенностей окружения в месте находок описан в разделе 3.1 «Вторичные наблюдения», поскольку это исследование является ярким примером важной особенности научного метода Леонардо – проведения систематических наблюдений, специально направленных на проверку достоверности или ошибочности высказанной гипотезы. На основе детальных исследования он пришёл к выводу:

«Я не вижу другого способа для указанных моллюсков оказаться так далеко от моря кроме как того, что они должны были родиться там». Hammer 9A-9r

В качестве заключительного аккорда в исследованиях Леонардо да Винчи по происхождению раковин на горах звучит его обоснование невозможности Всемирного Потопа с позиций науки о воде:

«Возникает сомнение, а именно: был ли Потоп во времена Ноя всеобщим или нет? В Библии читаем, что названный Потоп был следствием непрерывного дождя, продолжавшегося 40 дней и 40 ночей, и что этот дождь поднял воду на 6 локтей выше самой высокой горы мира. Если, действительно, дождь был всеобщим, то он придал бы нашей Земле вид сферы, а на сферической поверхности каждая её часть одинаково удалена от центра сферы; поэтому, если сфера воды находилась в подобном состоянии, то было невозможно, чтобы вода на ней двигалась, - ведь вода сама по себе не движется, если только не стекает вниз. Потому, как сошла бы вода подобного Потопа, если здесь доказано, что у неё не было движения? А если она сошла, как же она двигалась, если не опускалась? Здесь естественные причины отсутствуют. Потому, чтобы разрешить такие сомнения, необходимо призвать на помощь чудо, если только не сказать, что эта вода испарилась от жара солнца». C.A. 155 r.

Следует напомнить, что даже просто сомнение в словах, запечатлённых в Священной Библии, рассматривалось как ересь в Римской Католической Церкви. Несомненно, его обоснованные возражения против одного из наиболее важных положений Библии, стали широко известны среди современников Леонардо да Винчи, что было отражено в первом издании книги Джорджо Вазари: «Он сформировал в своей голове еретический взгляд на вещи, не согласующийся ни с какой религией; очевидно, он предпочитал быть скорее философом, чем христианином». Не ясно, в случае *рассмотрения* дела Леонардо да Винчи в Святой Инквизиции, какие из его высказываний были бы оценены как большее преступление: его мысли о природе космических тел или его обоснование невозможности Всемирного Потопа?

Стратиграфическая геология. Исследуя морские раковины, Леонардо заметил и правильно объяснил ещё один особо важный факт – он установил что *«раковины в Ломбардии находятся на четырёх уровнях. И это потому, что они возникли в разные периоды времени; и все они находятся в долинах, открытых в сторону моря».* Hammer 1B-36 r.

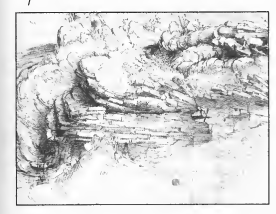


Рис.38

Он впервые наблюдал и правильно объяснил образование осадочных пород, **Рис.38**, Windsor 12394, на последовательных этапах давней истории Земли:

«Стратифицированные слои гор создаются на больших глубинах моря, поскольку грязь, которую штормы отделяют от берегов, уносится на большие глубины при откате волн...». Hammer 2B-35r.

На основании исследований происхождения раковин на горах Леонардо пришёл к заключению, что *«Над равнинами Италии, там, где теперь летают стаи птиц, когда-то плавали косяки рыб».* Hammer 10B-10v.

Этот вывод, основывающийся на убедительных, *очевидных* свидетельствах самой природы находился в резком противоречии с Библейской датой творения Мира – 7 октября 3761 г. 6000 лет, если считать до времени жизни Да Винчи, это очень большой срок, но не для подъёма морского дна на сотни метров. Полагаю, что читателю было бы интересно узнать, как давно *«над равнинами Италии, там, где теперь летают стаи птиц, плавали косяки рыб»*.



Рис.39

К сожалению, не сохранилось рисунков ископаемых раковин, которые Леонардо находил и детально исследовал в Тоскане и в Ломбардии. По ним можно было бы определить время формирования геологических структур. Раковина упомянутого им моллюска *сердцевидка* - гребешка Acanthocardia echinata (Linné) – **Рис.39**, из Палермо, Сицилия, датируется палеонтологами периодом Плиоцена, то есть около 10 млн. лет назад. Мои Итальянские друзья Леонардо и Паола Монтаньяни смогли найти более точный ответ на поставленный вопрос. В книге «Леонардо да Винчи и окаменелости» под редакцией Нери Поцца, изданной на итальянском языке в 1975 г., дано подробное палео-морфологическое описание характерных ископаемых в районах, обследованных Леонардо. В частности, в районе Монферрато и Александрии, действительно, наблюдается 4 уровня, богатых окаменелостями. Все они относятся в третичной системе кайнозойской эры: нижний – эоцен, начавшийся 55 млн лет назад (характерны крупные раковины фораминифер Nummulites fabianii), затем следуют олигоцен – 38 млн. лет (песчаники, содержащие планктоновые форминиферы), миоцен – 27 млн. лет (известковая глина, известняк песчаник, толщина слоя до1000 м, характерные окаменелости: цефалоподы, ламеллибранчи, гастроподы и морские ежи), и плиоцен – 10 млн. (моллюски, родственные современным видам). То есть эта часть Италии сравнительно молода.

Описанные Леонардо окаменелости из района Вероны гораздо старше. Тамошний известняк сыздавна использовался при сооружении церквей и за красоту свою получил название «розовый аммонитовый веронский». В нём встречаются прекрасные образцы аммонитов. Эти моллюски появились в Каменноугольный период Палеозойской эры (285-235 млн лет назад) и вымерли в Меловом периоде Мезозойской эры (70 млн. лет назад).

Влияние его идей. Последующие исследования. Конечно, научно обоснованные выводы Леонардо да Винчи о происхождении морских раковин на горах, о том, что в далёком прошлом Италия была дном моря, об ошибочности положений Библии о Всемирном Потопе и о совсем недавнем (6000 лет назад) сотворении Земли, не могли не оказать глубокого воздействия на мыслящих современников и учёных последующих поколений. Некоторые из этих воздействий прослеживаются достаточно надёжно.

В 1517 году при ремонте крепости Сан Феличе в Вероне были обнаружены каменные блоки с большим количеством окаменелостей. Один из наиболее авторитетных учёных того времени Джироламо Фракастро (1483 – 1553) писал в *«Homocentrica»* - работе, напечатанной в Венеции в 1558 г., что «они были в действительности останками живых существ, более того, не могли быть реликтами Библейского Потоп, который был локальным кратковременным явлением. Такие окаменелости находят не только в Вероне, но и в других местах, и существуют они на нескольких уровнях» (цитируется по [100]). Едва ли можно возразить против того, что Фракастро пересказывает здесь основные выводы Леонардо. В миланский период своей жизни (1482-1513) Леонардо да Винчи неоднократно встречался с коллегами в Падуе, Болонье, Венеции.

Читатель, интересующийся историей науки, сможет, по-видимому, найти подтверждение влияния исследований Да Винчи по палеонтологии и стратиграфической геологии, возможно, даже и с упоминанием его имени, в публикациях учёных следующего поколения:

Джироламо Кардано (1506-1576). Его ключевая работа в этой области «De subtiliate libri», XXI, Nurenberg, 1550. Фацио Кардано, его отец, естествоиспытатель, был другом Леонардо. Джироламо имел возможность

ознакомиться с собранием манускриптов Да Винчи, которые бережно сохранялись до 1570 г. на вилле Франческо Мельци возле Милана.

Агрикола – Георг Бауэр (1494-1555), знаменитый немецкий учёный, основатель минералогии и горного дела. Фундаментальные исследования: «De natura fossilum», 1546 и «De re metallica», Chemnitz, 1550. В 1524-26 гг. он работал в университетах Болоньи и Падуи.

Бернар Палисси (1510-1589, известный французский учёный, в книге «Discours Admirables», опубликованной в Париже в 1580 г., писал словами, близкими записям Леонардо, что вода в источниках и реках получается из дождей и снега, что окаменелости образовались из отложений в морях и озёрах (см. [100]).

.

В XVI –XVII веках, во времена инквизиции даже ссылки на высказывания Леонардо против постулатов Библии стали опасными и его исследования о далёком прошлом Земли были основательно забыты.

Исследования Леонардо да Винчи по происхождению морских раковин в горах, хорошо известные его последователям, заложили основу современной палеонтологии. С начала XIX века палеонтология стала одной из наиболее быстро развивающихся наук благодаря её огромной важности в изучении эволюции и в поисках месторождений угля, нефти и руд некоторых металлов. Наиболее важный вклад в становление палеонтологии внесли работы Джорджа Кювье по исследованиям древних ящеров и млекопитающих (1812) и Чарльза Дарвина «Происхождение видов» (1859).

Задачи-Леонардески

30. Я находил прекрасные образцы аммонитов и белемнитов в старице Оки в Солотче, недалеко от Рязани, и в Кисловодске, у «Солнышка» и на «Стол-горе». Как проходила береговая линия моря в тот геологический период? Как выглядели материки?

31. Какие окаменелости характерны для района, где Вы живёте? Что было в Вашем районе 100 млн., 500 млн. лет назад?

Н-7.4. Предсказание будущего Земли

Греческий философ Эмпедокл (около 490 – 430 до н.э.) предложил для объяснения процессов в физическом мире теорию четырёх первичных элементов – земля, вода, воздух и огонь. Ничто само по себе не возникает и не разрушается; все изменения происходят вследствие того, как перемешиваются элементы. Две противоборствующие тенденции – перемешивания и разделения элементов – определяют всё разнообразие наблюдаемых процессов. Теория четырёх элементов господствовала в научном мировоззрении в той или иной степени в течение двух тысяч лет. Леонардо да Винчи часто обращался к ней в своих исследованиях.

Земля, вода, воздух и огонь обладают различной плотностью, так что имеется естественный стимул для их разделения. Аристотель использовал эту идею для предсказания, что, в конце концов, земля будет со всех сторон окружена водой, и каждый элемент будет находиться в пределах своей идеальной сферы. Леонардо да Винчи для обоснования этой концепции предложил конкретные физические эффекты, основанные на его многочисленных наблюдениях и экспериментах по изучению воды, её движения и взаимодействия с препятствиями:

«Вода довела бы Землю до совершенной сферы, если бы смогла». C.A. 185 v-c.

«В конце горы будут полностью сглажены водой, ввиду того, что вода смывает с них почву и вскрывает камень, который начинает крошиться и превращаться в почву, подвергаясь также действию жары и мороза; и горы помаленьку обрушаются к подножиям, реки уносят частицы, и образуются огромные озёра». Hammer 17b-17v.

Да, Аристотель и Леонардо да Винчи правильно указали на один из важнейших факторов, приводящих к формированию поверхности нашей планеты, но есть ещё несколько эффектов, которые остались недооценёнными или были просто неизвестными им. Полагаю, что молодые читатели смогут самостоятельно составить более обоснованное представление о далёком будущем Земли.

Задачи-Леонардески

32. Как образуются горы? Интенсивность распада тяжёлых ядер в земле падает со временем. Как это повлияет на процесс горообразования? Оцените, когда этот эффект станет сравнимым с эффектом, предсказанным Леонардо?

33. Интенсивность ядерных процессов на Солнце изменяется со временем. Как это повлияет на далёкое будущее Земли? Как соотносятся соответствующие временные оценки для критических изменений в интенсивности ядерных процессов на Земле и на Солнце?

34. В истории Земли уже случались катастрофы в результате столкновений с астероидами. В настоящее время траектории космических тел рассчитываются с большой точностью. Что должно предпринять человечество, чтобы избежать гибели при заблаговременном обнаружении астероида, движущегося по опасной орбите?

Н-8. Техника

«Пресветлейший государь мой, увидев и рассмотрев в достаточной мере попытки тех, кто почитает себя мастерами и конструкторами военных орудий, и найдя, что устройство и действие названных орудий ничем не отличаются от общепринятого, попытаюсь я, без желания повредить кому другому, светлости вашей представиться, открыв ей свои секреты и предлагая их затем по своему усмотрению, когда позволит время, осуществить с успехом в отношении всего того, что вкратце, частично, поименовано будет ниже:

1. Владею способами постройки легчайших и крепких мостов, которые можно без всякого труда переносить и при помощи которых можно преследовать неприятеля, а иногда бежать от него, и другие ещё, стойкие и неповреждаемые огнём и сражением, легко и удобно разводимые и устанавливаемые. И средства также жечь и рушить мосты неприятеля.

2. В случае осады какой-либо местности умею отводить воду изо рвов и устраивать бесчисленные мосты, делать стенобитные орудия и лестницы и другие, применяемые в этом случае приспособления.

3. Также, когда из-за высоты вала или укреплённости местоположения нельзя при осаде применять бомбарды, есть у меня способы разрушать всякое укрепление или иную крепость, не расположенную вверху на скале.

4. Есть у меня виды бомбард, крайне удобные и лёгкие для переноски, которые кидают мелкие камни, словно буря, и наводят дымом своим великий страх на неприятеля с тяжёлым для него уроном и смятением.

5. Также есть у меня средства по подземельям и по тайным извилистым ходам пройти в назначенное место без малейшего шума, даже если нужно пройти подо рвами или рекой.

6. Также устрою я крытые повозки, безопасные и неприступные, для которых, когда врежутся со своей артиллерией в ряды неприятеля, нет такого множества войска, которого они не сломили бы. А за ними невредимо и беспрепятственно может следовать пехота.

7. Также, в случае надобности, буду я делать бомбарды, мортиры и метательные снаряды прекраснейшей и удобнейшей формы, совсем отличные от обычных.

8. Где бомбардами пользоваться невозможно, буду проектировать машины для метания стрел, баллисты, катапульты и другие снаряды изумительного действия, не похожие на обычные; словом, применительно к разным обстоятельствам буду проектировать различные и бесчисленные средства нападения.

9. И случись сражение на море, есть у меня множество приспособлений, весьма пригодных к нападению и защите; и корабли, способные выдержать огонь огромнейшей бомбарды, и порох, и дымы.

10. Во времена мира считаю себя способным никому не уступать как архитектор в проектировании зданий, и общественных и частных, и в проведении воды из одного место в другое.

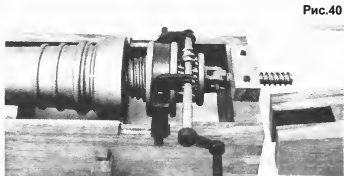
Также буду я исполнять скульптуры из мрамора, бронзы и глины. Сходно и живописи – всё, что только можно, чтобы поравняться со всяким другим, кто бы он ни был. Смогу приступить к работе над конной статуей, которая будет бессмертной славой и вечной честью блаженной памяти отца Вашего и славного дома Сфорца. А буде что из вышесказанного показалось бы кому невозможным и невыполнимым, выражаю полную готовность сделать опыт в парке Вашем или в месте, какое угодно будет Вашей Светлости, коей и вверяю себя всенижайше». С.А. 391 а

Такое письмо Леонардо написал в 1482 году Миланскому герцогу Лодовико Сфорца, более известному под прозвищем Моро. Инженерное «резюме» Леонардо да Винчи выглядит впечатляюще и в наше время! Ему было тогда 30 лет. Леонардо жил во Флоренции. В 1472 г., после нескольких лет учёбы в мастерской Веррокио, он был зарегистрирован во Флорентийской гильдии художников. «Благовещение», «Поклонение волхвов», «Мадонна Бенуа», «Портрет Джиневры Бенчи», «Св. Иероним» написаны в этот период. Леонардо был ко времени отъезда в Милан известным художником и музыкантом (превосходно играл на лире и обладал, по отзыву современников, божественным голосом и даром импровизации), но официально не привлекался во Флоренции к выполнению каких-либо технических проектов. Позднее его интерес к научным исследованиям и решению технических проблем стал преобладающим. В Милан он был приглашён в качестве Инженера и Художника и работал там до 1499 г., когда Франция нанесла поражение Лодовико Сфорца. В 1502 г. Цезар Борджиа пригласил Леонардо на должность Главного Архитектора и Военного Инженера и поручил ему обследовать крепости и укрепления в своих владениях и сделать изменения, которые он сочтёт нужными. Последние годы, с 1517 по 1519 Леонардо да Винчи прожил во Франции, где его величали «Первым Королевским Художником, Инженером и Архитектором, Государственным Механиком».

Известно, что в наше время соискатели зачастую сильно приукрашивают свои достоинства в резюме. Посему небезынтересно представить, что мог бы Леонардо да Винчи предложить на самом деле Лодовико Сфорца, правителю Милана, рассмотрев для примера одно из заявлений его «резюме» относительно изобретения *«необычных пушек»*. Пушки в то время представляли собой толстостенные литые бронзовые, реже чугунные, трубы, закрытые со стороны пороховой камеры; порох и ядро заталкивались со стороны дула. Дальность, точность стрельбы, скорострельность были весьма низкими. В манускриптах Леонардо сохранился целый ряд его принципиальных предложений по усовершенствованию артиллерийских систем:

- Леонардо понимал, что дальность стрельбы возрастает с увеличением длины ствола, и предложил изготавливать стволы из нескольких секций с прочным резьбовым соединением [Windsor 12652].
- Он сконструировал специальную машину с гидравлическим приводом для проката длинных гладких сегментов [С.А.2г-а], из которых затем предполагалось изготавливать наборный ствол, сваривать и укреплять бандажом.
- Очень сложно изготовить литой и тем более многосекционный ствол с гладкой внутренней поверхностью. Прорыв пороховых газов в зазор между снарядом и стволом приводит к катастрофическому уменьшению его скорости. Леонардо изобрёл способ шлифовки внутренней поверхности цилиндра, [С.А.291 г].
- Заряжать пушку с дульной части неудобно, долго, а во время боя и просто опасно. Леонардо предложил конструкцию затвора с резьбовым запиранием канала ствола. На **Рис. 40** показана действующая модель устройства, построенного в соответствии с его рисунками в [С.А.10 v-a] и [Windsor 12652].

Рис.40



- Для поджигания пороха в зарядной камере Леонардо предложил[110] вместо фитиля использовать простое и надёжное устройство с пружиной, стальным колёсиком и кремнем того же типа, что используется теперь в зажигалках.
- Снаряд обтекаемой формы и стабилизатор для обеспечения его устойчиво-

сти при полёте, **Рис. 41**, Arundel 54 r – тоже изобретения Леонардо да Винчи.

- Изобретение Леонардо, показанное на **Рис. 42**, Windsor 12651, является очевидным прообразом зажигательных и фугасных снарядов современной артиллерии. «Рога», отходящие от носовой части снаряда, заполнены порохом (тринитротолуола в то время ещё не было), который поджигается при ударе. Такие снаряды Леонардо предполагал запускать с катапульты. Та же идея была использована в изобретённой им шрапнели – ядре с большим зарядом внутри, при взрыве которого образуется огромное количество осколков [C.A. 9 v-a].

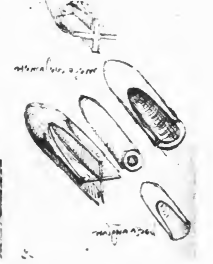
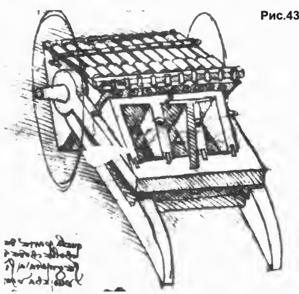
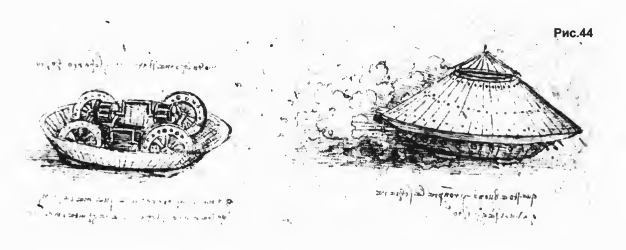

Рис.41


Рис.42

- По-видимому, самым эффективным из военных изобретений Леонардо да Винчи в случае применения была бы скорострельная артиллерийская установка, **Рис. 43**, C.A. 9 v-a. На каждой из трёх платформ лафета закреплено по 11 заранее заряженных стволов. Винт, упирающийся в основание, предназначен для изменения угла возвышения. Стрельба может вестись либо залпом, либо поочерёдно. Стволы установлены веером для поражения целей на некоторой ширине фронта. Леонардо разработал также упрощенную, более лёгкую и простую в изготовлении установку с тремя стволами, C.A. 340 v-a. Можно представить, какой урон наступающей коннице противника нанесла бы на поле боя даже одна многозарядная установка. Изобретённая Леонардо скорострельная установка является прототипом двух систем: пулемёта Гартлинга (1862) с несколькими стволами, поворачивающимися вокруг центральной оси, и нашей знаменитой «Катюши», реактивной системы залпового огня, впервые применённой 14 июля 1941 г. против скопления войск противника на станции Орша.


Рис.43


Рис.44

- *«Также устрою я крытые повозки, безопасные и неприступные, для которых, когда врежутся со своей артиллерией в ряды неприятеля, нет такого множества войска, которого они не сломили бы. А за ними невредимо и беспрепятственно может следовать пехота».* Крытой повозкой с артиллерией Леонардо называет изобретённый им прообраз современного танка, **Рис.44**. В 1967 г. после Симпозиума по Высоким Динамическим Давления в Париже для группы русских учёных была организована туристская поездка по замкам Луары. Посетили мы и Амбуаз, где Леонардо прожил последние годы. В мемориальном музее Леонардо представлены в натуральную величину модели нескольких из его изобретений. Войдя в танк, я воочию ощутил величие инженерного гения Леонардо, что-то в области сердца у меня ёкнуло, и именно с того момента начались мои более чем 30-летние исследования его научного метода.

В манускриптах Леонардо да Винчи сохранилось огромное количество рисунков и записей, посвященных проблемам техники. Заинтересованные читатели смогут более глубоко познакомиться с работами Леонардо и его предшественников в недавних публикациях [61, 31, 42, 44, 55, 63, 94, 95]. Леонардо изучал до мельчайших деталей технические решения древних и средневековых предшественников в строительной механике, гидромеханике, металлургии, и др. по доступным копиям и из бесед со специалистами. Но, вне всякого сомнения, его достижения во многом определяются творческим подходом к делу, применением научного метода при решении любой технической проблемы. Е. Ольшевский [86] верно отметил принципиальное различие между техническими знаниями средневековых мастеров и его научным, «инженерным» подходом: «технические знания представляют собой упорядоченный набор рецептов, совокупность ответов на вопросы, что и как надо делать, для того чтобы изготавливать изделия и организовывать протекание технических процессов нужным образом, в то время как инженерные науки исследуют явления и устанавливают закономерности, определяют условия, необходимые для протекания процесса оптимальным образом». Его заявление, что «во время Леонардо инженерные науки не существовали просто потому, что до того времени наука и техника развивались независимо», едва ли верно, и легко можно найти примеры «высокой технологии» среди античных и средневековых достижений, особенно в строительной механике (взять хотя бы формулировку и применение закона рычага), металлургии, химических процессах. Но Ольшевский в принципе прав в высокой оценке Леонардо да Винчи, поскольку его феноменальная способность выяснять суть процессов была недоступна обычному технику.

В контексте нашего исследования Научного Метода Леонардо да Винчи мы ограничимся ниже лишь тем, что подразделим его многочисленные технические заметки и проекты в группы в соответствии с их новизной и уровнем научного прорыва.

Н-8.1.Изучение работ предшественников. Усовершенствования

Историки науки [55, 7, 62, 31, 42, 44, 63, 94, 95] установили, что некоторые схемы и идеи технических решений, обнаруженные впервые в манускриптах Леонардо, на самом деле были заимствованы из работ известных итальянских инженеров Мариано ди Якопо, более известного под именем Таккола (1381-1458), Франческо ди Джорджио (1439-1501), Филиппо Брунеллески (1377-1446). Эта группа чертежей в манускриптах Леонардо включает модификации простых механизмов и некоторые заинтересовавшие его машины или технические решения, в том числе:

- варианты классической схемы «вечного колеса», предложенные Мариано ди Якопо из Сиены и Алессандро Карпа из Кремоны, были хорошо известны в Италии;
- схема и важные узлы большого подъёмного крана (рисунки Леонардо в С.А.295 r.-b, 808 r, 965 r; Ms. B 49 v) заимствованы, у Ф. Брунеллески, который разработал ряд специальных технических решений при строительстве купола Собора Св. Марии дель Фиоре во Флоренции (см. [55, 31]);
- по-видимому, ряд схем водоподъёмных устройств в манускриптах Леонардо да Винчи представляет собой модификации установок, изобретённых Франческо ди Джорджио.
- драга, изобретённая Франческо ди Джорджио [55], является прототипом установки, изображённой в Ms E 75v Леонардо да Винчи.

Конечно, граница между «небольшими» и существенными изменениями известных технических решений не всегда чёткая. Так, например, арбалет сыздавна был распространённым оружием в Европе, но Леонардо сконструировал арбалет огромных размеров, **Рис. 45**, C.A. 53 v.-ab для метания 100-фунтовых камней (страшное оружие!). Для выполнения, формально говоря, количественных изменений в известной конструкции, Леонардо, по-видимому, впервые изобрёл многослойную (как сейчас сказали бы «композитную») 24-метровую дугу для обеспечения большей нагрузки, надёжный узел с силовой резьбой для натяжения струны, специальное спусковое устройство. Если бы в то время существовало Патентное Бюро, оно признало бы изобретениями многие из его усовершенствований известных решений.

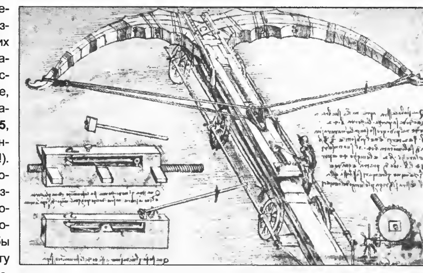


Рис.45

Н-8.2. Анатомия машин

Работа любой машины, также как и функционирование живого организма определяется, в конечном счете, рабочими характеристиками всего набора элементов, его составляющих. Леонардо да Винчи впервые в истории техники провёл систематическое исследование «анатомии» и «физиологии» деталей машин. В обширном комплексе его рисунков исследователь найдёт как большое число разновидностей различных деталей («анатомия»), так и, как правило, профессиональный анализ поведения деталей в рабочих условиях: распределение напряжений, обоснованный выбор материала, трение и т.п. для данного класса деталей.

«Когда создаётся инструмент, условия его работы определяют форму деталей. Они могут быть бесконечно различными, но всегда должны удовлетворять правилам, представленным в четырёх книгах». Madrid I, 96v.

На основании такого анализа он вносил соответствующие изменения и обоснованные предложения для их использования в конструкциях. Ладислао Рети в фундаментальном исследовании «Элементы машин» [95] показал, что Леонардо да Винчи действительно скомпоновал четыре книги об элементах машин, и материалы, представленные в Атлантическом и Мадридском кодексах, представляют лишь малую часть его исследований. Даже сохранившиеся записи позволяют увидеть результаты его систематизации, по крайней мере, в 22 классах элементов машин, включая винты, зубчатые колёса, цепные передачи, пружины, кулачки, цилиндры и поршни, клапаны, и пр. Отметим здесь лишь несколько примеров, ярко характеризующих его уровень инженера-учёного.

Зубчатые передачи. Набор модификаций зубчатых передач, представленный на страницах Мадридского Кодекса I, включает варианты цилиндрических и конических шестерен, комбинации левой и правой резьбы на одном стержне, дифференциальный винт (две нарезки с различным шагом), шестерня с внутренней нарезкой, бесконечный винт, ряд специальных зубчатых передач для часов, устройства для нарезания резьбы. Во многих машинах к резьбовой передаче предъявляются жёсткие требования (следует напомнить, что в то

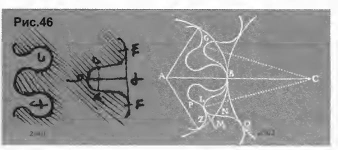


Рис.46

время зубчатые передачи изготавливались обычно из дерева). Для того чтобы удовлетворить предъявляемым требованиям, Леонардо детально исследовал процесс передачи нагрузки и сконструировал прибор для измерения прочности резьбы (см. раздел 3.3.4. Измерения). Он предложил идеальный профиль резьбы, **Рис.46**, Madrid I, 118 v, при котором в процессе движения реализуется трение качения 55. Через 200 лет то же решение было предложено Филиппе де Ля Найе. Леонардо изобрёл геликоидальную червячную передачу, **Рис. 47**, Madrid I, 17v, в которой одновременно осуществляется контакт нескольких зубьев, что позволяет резко повысить величину передаваемого усилия. В XVIII веке червячная передача была вновь изобретена английским часовым мастером Хиндли.

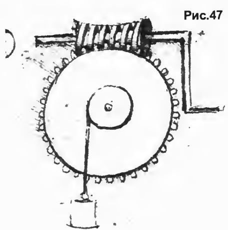
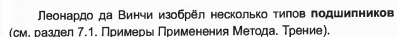


Рис.47



Леонардо да Винчи изобрёл несколько типов **подшипников** (см. раздел 7.1. Примеры Применения Метода. Трение).

Н-8.3. Комплексные инженерные проекты. Автоматы

В наше время мы склонны недооценивать достижения Леонардо да Винчи в технике, поскольку многие из них, будучи вновь изобретены позднее и реализованы, кажутся очевидными. Следует напомнить, что более 30 лет, начиная с 1482 и до последних дней жизни, он занимал ответственный пост Главного Архитектора и Инженера сначала в Милане, затем на службе у Борджиа, затем в Риме и во Франции. На этом посту он был ответствен за строительство и реконструкцию гражданских и военных сооружений, каналов, осушение болот, конструирование различных машин, и пр. В записных книжках, куда он записывал свои мысли и результаты исследований, упомянута лишь очень малая часть проектов, реализованных при его жизни. Ниже следует небольшая выборка из крупных технических проектов и нестандартных решений Леонардо:

- Оригинальные инженерные решения по сооружению купола Миланского собора, проекты нескольких дворцов и церквей.
- В январе 1490 г. в замке Сфорца в Милане было показано представление «Рай» придворного поэта Бернардо Беллинчиони. Сохранились восторженные свидетельства современников о механических, световых и звуковых эффектах представления, разработанных Леонардо (см. [69]);
- Решение нескольких фортификационных проектов (крепость Имола, предложения по защите Венеции от ожидавшегося нападения турок и др.).
- Изобретение первых автоматов: машины для насечки напильников, **Рис. 48**, [C.A. 6 г]; автоматического вертела с использованием пропеллера, Рис. 25, [C.A. 5 v-a], который тем быстрее поворачивал тушу над огнём, чем сильнее тяга в трубе;

  сооружение механического льва, преподнесённого королю Франции Франциску I в 1515г. Лев подошёл к королю, и из его груди посыпались лилии – символ Французской монархии и вместе с тем Флоренции. Очевидно, механического льва можно также рассматривать в качестве одного из первых реализованных автоматов.
- Автомат по чеканке монет необычно высокого качества, изготовленный для Ватикана, Ms G 43 г.
- Прообраз токарного станка, C.A. 381 г и устройство для просверливания длинных труб, [Madrid I, 25 v; C.A. 393 г].
- Разработка проектов нескольких типов машин для текстильных мануфактур – наиболее важной отрасли экономики Италии того времени: машина для наматывания нити на боббину,

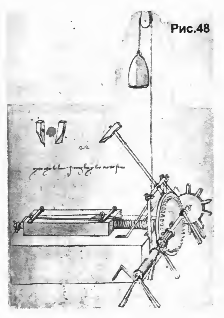


Рис.48

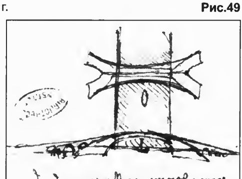
[Madrid I 65 v]; веретено, [C.A. 393 v.-a], позволявшее одновременно перемешивать пряжу, скручивать и наматывать нить (похожую машину в XVIII в. изобрели англичане Аркрайт и Пол); автомат по заточке игл, [C.A. 31 v] (Леонардо рассчитал даже, какой доход могло бы принести ему это изобретение - 60.000 дукатов в год).

Н.8-4. Технические решения, основанные на его научных идеях

Леонардо считал необходимым *«включать в каждое научное положение его приложение и использование, для того чтобы наука не было бесполезной»*. Ms F 2v, и такой подход приводил к генерированию множества оригинальных технических решений (автор идеи обычно лучше, чем кто-либо другой, может предвидеть её возможные применения). Нижеследующий краткий список оригинальных технических решений, в большей своей части намного опередивших потребности средневековой Италии, демонстрирует величие таланта Леонардо-инженера, который задолго до теоретической разработки соответствующих научных представлений мог интуитивно-обоснованно (да, именно так, красивые решения просто так не приходят!) предлагать фундаментальные технические решения, вновь предложенные и реализованные лишь через несколько веков.

- Несомненно, на первое место в этом списке следует проставить «отрицательный» результат Леонардо – сформулированный им впервые Принцип Невозможности Построения Вечного Двигателя, поскольку он сберёг для человечества неоценимые средства, которые могли бы ещё долго растрачиваться на безрезультативные работы поколений изобретателей.
- Многочисленные изобретения, связанные с проектами летательных аппаратов (см. главу Н-4. Летательные аппараты).
- Проект сооружения моста через Босфор, **Рис.49**, Ms. L 66 г.
- *«Напиши сначала диссертацию о причинах, вызывающих разрушение стен, а затем отдельно о средствах спасения их от разрушения»* [Arundel 157 г.]. Леонардо впервые предложил сооружать здание по типу «опрокинутой арки» – структуры, устойчивой при землетрясении. Италия находится в зоне тектонического разлома, и там регулярно происходят разрушительные землетрясения. Интересующихся этой разработкой отсылаю к статье «Защита от землетрясения» [105].
- Изобретение центробежного насоса (см. раздел 3.8).

Рис.49



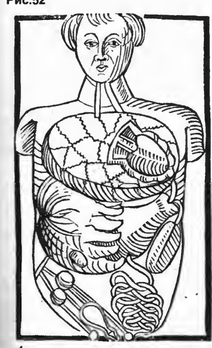
Н-9. «Что такое человек? Что такое жизнь?»

Н-9.1. Анатомия

В апреле 1989 г. после Конференции в Оксфорде по Высокоскоростной деформации я должен был, по согласованию с организаторами, выступить с лекцией в Кембридже, но лекция не состоялась из-за каких-то праздников. Нет худа без добра! До отлёта оставалось два дня, и мне удалось посетить в Лондоне выставку, где были представлены рисунки Леонардо по анатомии из Королевской коллекции в Виндзоре (собрание включает 438 рисунков!). Прошло уже много лет, но незабываемо впечатление от крупноформатных листов с рисунками Леонардо, которые воспринимались скорее как произведения искусства, чем иллюстрации по анатомии. Именно об этом собрании работ писал Антонио де Беатис, в 1517 г. во Франции: «Этот господин подготовил особый трактат по анатомии с рисунками органов, мускулов, нервов, суставов, кишечника и других частей человеческого тела в таком виде, который никогда ранее и никем не был сделан. Всё это мы видели

своими глазами; и он сказал, что производил вскрытия более 30 трупов мужчин и женщин разного возраста». Вот какую профессиональную оценку дал Виндзорскому собранию анатомических рисунков Да Винчи знаменитый английский хирург и анатом Уильям Гентер, который в 1784 г. одним из первых изучил эти работы: «Я ожидал увидеть рисунки по анатомии немногим лучше тех, которые могут понадобиться художнику с точки зрения его профессии. Но я с удивлением обнаружил, что Леонардо занимался общими глубокими исследованиями. Когда я подумал о том, сколько труда он вложил во вскрытия каждой части человеческого тела, о превосходстве его универсального ума, о его особенно хороших знаниях механики и гидравлики, и о том, с каким вниманием этот человек относился к изучению предметов, которые он изображал на рисунках, я пришёл в выводу, что Леонардо был лучшим анатомом своего времени в мире. Леонардо был первым, кто ввёл анатомические рисунки в практику» (цитируется по [30]).

Рис.52



Прежде всего, поражает художественный уровень рисунков Леонардо. Сравните его схему внутренних органов женщины, **Рис. 50** (См. раздел Иллюстрации), Quaderni I, 12 г, датируемый 1508 г. и мышц плеча, **Рис. 51** (См. в разделе Иллюстрации), Windsor 18012 г, (1510 г.) с рисунком **Рис. 52** из изданного в Лейпциге в 1501 г. пособия по анатомии Магнуса Хундта. Для наглядного представления относительного положения внутренних органов Леонардо изобразил на **Рис. 50** лишь некоторые из них объёмно, другие показал в разрезе, всё несущественное для данного представления либо просто убрал (мышцы, кишечник), либо сделал полупрозрачным. Недаром этот шедевр Леонардо уважительно называют «Великая Леди Анатомия». Что касается анатомической точности схемы, специалисты отмечали ряд ошибок (см. [84]), в том числе: двухкамерное сердце (позднее Леонардо первым обосновал, что его следует считать четырёхкамерным [Windsor 19062], датируется 1513 г.); почки занимают положение, свойственное не человеку, а животным; матка увеличенных размеров (возможно, указывает на беременность); неправильные направления некоторых сосудов. Происхождение ошибок связано, в первую очередь, с тем, что в течение жизни он смог получить разрешение на вскрытие лишь 30 трупов, главным образом, преступников. В основном он, как, кстати, и Гален, и большинство средневековых анатомов, проводил исследования на животных. Вследствие недостаточного количества собственных наблюдений, довольно часто он следовал неточным представлениям знаменитых предшественников – Аристотеля, Галена, Авиценны.

В 1952 г. полный свод сохранившихся анатомических рисунков Леонардо да Винчи опубликован О'Маллей и Саундерсом [84] и несколько раз переиздавался. На 500 страницах книги приведены рисунки Леонардо (215 листов), перевод его пояснений и детальные профессиональные комментарии. Интересующиеся могут купить книгу примерно за 10 долларов через Интернет. Посему мы ограничимся перечислением лишь нескольких открытий Леонардо в анатомии (см. подробнее [84, 20]):

- Впервые правильно изобразил форму позвоночного столба с двумя радиусами кривизны, **Рис. 53**, Fogli A, 8-v. Вместе с описанием соответствующего мышечного аппарата это выявило статические и динамические условия вертикального положения человеческого тела и его движений.
- Правильно описал отличие первого и второго позвонков от остальных и определил число позвонков в крестце.
- Выяснил, как осуществляется поворот руки ладонью вниз (пронация) и ладонью вниз (супернация предплечья).



Рис.53

- Первый сформулировал принцип мышечного антагонизма.
- Впервые описал четырёхкамерное строение сердца, строение и механизм работы сердечных клапанов.
- За сто с лишним лет до Гаймора описал воздухоносные пазухи черепа, а также пазуху верхней челюсти.

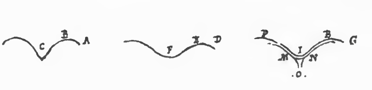
Анатомия для художников

Леонардо начал заниматься анатомическими исследованиями ещё во время учёбы в студии Андреа Веррокио, изучая, в соответствии с традицией, пропорции человеческого тела, позы и жесты. Этими вопросами на профессиональном уровне занимались Флорентийские художники старшего поколения, особенно Антонио Поллайоло (1431-1498), который первым стал изучать строение и работу тела (см. его известную картину «Битва обнажённых») и сам Веррокио. Профессионально, на уровне анатомов, изучал структуры человеческого тела Микеланджело.

Особо важным для художников и скульпторов было знать, какими мышцами и как создаётся наблюдаемая поверхность тела в конкретных позах и жестах. Этим вопросам посвящена большая часть III главы Codex Urbinas - Трактата о Живописи, составленного Франческо Мельци по материалам Леонардо, который хранится в Ватиканской Библиотеке. Мельци стремился при составлении Трактата не упустить ни одной из записей Учителя по обсуждавшимся вопросам, при этом начальные и поздние версии мыслей Леонардо из трактатов разных периодов оказались представленными недостаточно аккуратно. В изданной недавно Мартином Кемпом с Маргарет Уолкер версии трактата “Леонардо о живописи” [70] записи Леонардо да Винчи о живописи систематизированы в том виде, как они выглядели бы в его собственном изложении. Перечислим названия лишь некоторых разделов из главы о человеческом теле в «Трактате о Живописи» Леонардо: об изменениях в размерах человека от рождения до достижения предельного роста; о пропорциональности частей; как изображать восемнадцать действий; о движениях при нарушении равновесия; о смехе и крике; как хороший художник должен изображать человека и его мысль.

Отметим в качестве примера замечания Леонардо о том, как рельеф напряжённых мышц сглаживается упругостью кожи и жировой прослойкой, **Рис. 54**:

Рис.54



«Углубления между мышцами не должны иметь такой вид на картине, чтобы казалось, будто кожа облегает две палки, соприкасающиеся друг с другом, как это показано в с. И не как две палки, несколько разобщённые, с провислой кожей, образующей широкую впадину, как в f. Они должны покоиться, как в i, на губчатом жире, залегающем в углах, например, в углу nто... тогда углубление i всегда имеет большую кривизну, чем мышца». Т.Р. 117 г.

Леонардо особо подчёркивает необходимость избегать чересчур преувеличенного изображения всех мышц в напряжённом состоянии, что отнюдь не отражает мастерство художника:

«Художнику для того, чтобы хорошо представлять позы и жесты, необходимо знать анатомию сухожилий, костей, и мышц. Он должен знать их различные движения и силу, и какие сухожилия и мышцы участвуют в каждом движении, и изображать чётко и полно лишь те, но не другие, и не поступать как многие, которые, для того, чтобы казаться великими мастерами, изображают обнажённые фигуры одеревеневшими, а не грациозными, похожими скорее на мешок, полный турнепса, а не на поверхность человеческого тела». Ms. L 79

В воспоминаниях современников сохранились конкретные адресаты его критических замечаний по поводу неаккуратного демонстрирования художниками и скульпторами их знания анатомии: античные конные скульптуры, конная статуя Каллеони работы Веррокио, фрески Микеланджело в Сикстинской капелле.

Н-9.2. «Что такое человек?»

Сверхзадача исследований. В процессе анатомических исследований Леонардо не остановился на чисто анатомических разработках и на составлении рекомендаций по изображению человеческого тела для художников. Он пошёл много дальше и стал искать ответы на фундаментальные вопросы «Что есть человек?», «Что объединяет его с другими животными, и что отличает?», «Что такое жизнь?», «Что такое душа?». Вопросы эти составляли, по сути, неотъемлемую часть его философии, его размышлений о строении Мироздания и поиска законов Природы, о чём мы говорили в предыдущих разделах. Конечно, он не мог при существующем в то время уровне научных знаний дать обоснованные ответы на все поставленные вопросы, но поражает сам его подход к проблемам и формулировки вопросов, заслуживающих исследования. Общая концепция Леонардо да Винчи ясно видна из следующей записи:

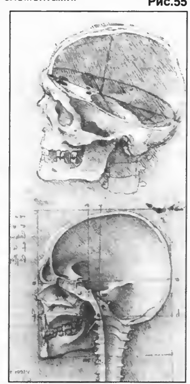
«Лекарства, когда они употребляются правильно, восстанавливают здоровье человека; и тот применяет их хорошо, кто знает, что такое человек, что такое жизнь, и как равновесие, согласие стихий его поддерживает, а их раздор его разрушает и губит. Зная это, он будет знать их противоположности, и потому он скорее найдёт способ лечения, чем кто-либо другой». С.А. 270 r-c

За этой мыслью, подчёркивающей важность глубокого научного познания, **что такое жизнь**, следует довольно пространное отступление по поводу системного подхода к сооружению собора – сложной инженерной конструкции.

«Точно также для ремонта собора нужен доктор - архитектор, который хорошо понимает, что представляет из себя здание, на каких законах основан правильный метод его сооружения, и как получены эти законы, и на сколько частей здание разделено, что удерживает всю структуру вместе, и какова природа веса, и какова должна быть прочность, и как они взаимосвязаны, и какой эффект производит их союз. Тот, кто имеет истинное знание об этом, удовлетворит вас своим интеллектом и работой». С.А. 270 r-c

Обычно цитируется именно вторая половина высказывания Леонардо, притом при обсуждении его подхода к решению технических проблем. Но, по существу, наглядная аналогия с легко осязаемыми элементами собора является обоснованием подхода Леонардо да Винчи к изучению сложного явления в целом с детальным исследованием причинно-следственных связей между составляющими элементами.

Рис.55



Тело человека – инженерная конструкция. Первым шагом, который следовало сделать при изучении тела человека, в соответствии со сформулированной Леонардо необходимостью рассмотрения явления в целом, со всеми его внутренне присущими связями, было систематическое и аккуратное изучение «деталей», из которых построено тело. Анатомия, как таковая, как раз и является «сводом деталей» человеческого тела.

За этой весьма трудоёмкой работой естественным образом следовал следующий шаг – стремление выяснить, «что представляет из себя организм, на сколько частей разделён, и что удерживает всю структуру вместе»:

«Анатом должен знать и уметь применять геометрию и перспективу, должен иметь точное понятие о силе мускулов и о механизме костей – рычагов; должен помнить, что анатомические исследования не могут быть отделены от изучения функций, которым подчинены изучаемые анатомические части». Fogli A, 17

Ниже приведено несколько записей Леонардо о связи между строением некоторых частей тела и их функциями:

- Вывод из анализа строения черепа, **Рис. 55**:

«Изучив отдельные части черепа, рассмотри его в целом; тебе станет

ясна разница между величиной скелета мозговой части черепа и скелета лица: на скелет лица приходится только одна треть. И если ты станешь размышлять об этом, то скоро придёшь к выводу, что органу, управляющему нашей мыслью и волей – мозгу, отведено значительно больше места, а органам чувств меньше. И это ты найдёшь только у человека; у животных нет подобной разницы в этих отделах скелета». Fogli B 41 v

- Управление движением органов и их питание:

«Ты найдёшь почти всегда, что кровеносные сосуды и нервы идут к мышце рядом и похожим образом разветвляются в каждой мышце». Windsor 19027 г.

- При анализе полёта птиц и летательных аппаратов мы обсуждали в разделе Н-4.3. Движитель исследования Леонардо по сравнению мышечного аппарата птиц и человека, на основании которых он сделал вывод, что силы рук недостаточно для полёта, и перешёл к разработке конструкций с ножным приводом.

- Замечание о целесообразном (с позиций техники безопасности) расположении сухожилий и сосудов на пальцах (с т:

«Увидел ли ты здесь ту тщательность, с какой природа расположила сухожилия, артерии и вены по бокам пальцев, а не посередине, дабы при работе они как-нибудь не укололись и не порезались?» Fogli A 13 v.

- Леонардо установил ограничивающее влияние сгибания руки в локтевом суставе на вращение ладони, угол поворота уменьшается от 270° при вытянутой руке до 180° при сгибании предплечья [Quaderni IV, 14 г; Fogli B, 5 г].

- Диафрагма описана им в виде мышечно-сухожильного образования, прикреплённого к концам рёбер. Леонардо правильно объяснил роль диафрагмы в механизме дыхания, указав, в частности, что для осуществления процесса необходима фиксация нижних рёбер другими мышечными группами [Quaderni I, 5 v, 6v].

- Смотрите также описание нескольких открытий Леонардо в механике человеческого тела, вынесенных в другие разделы книги: система исследования анатомии и функций руки – в разделе 1.4. Явление в целом; математический анализ работы клапанов сердца и применение Природой принципа рычага при конструировании зубов – в разделе 3.6.1 Модель явления; постановка вопросов о механизме работы органов чувств – среди задач-леонардесок в разделах 1.3 и 2.2.

Функциональный подход Леонардо да Винчи к изучению строения человеческого тела существенно обогатил его Анатомию и повысил её практическую ценность для медиков.

Третий шаг реализации программы – исследование, *«на каких законах основан правильный метод сооружения тела, и какой эффект производит союз составляющих тело частей».* Леонардо нашёл, что многие эффекты в человеческом теле могут быть объяснены на основе хорошо изученных им законов механики твёрдого тела (условия равновесия тела, момент сил, прочность материалов и др.) и движения жидкости (в частности, вязкость, турбулентность, импульс силы, оказываемой потоком на стенку). Посему:

«Сделай так, чтобы книга о механике с примерами предшествовала демонстрации движения и сил человека и других животных, и тогда ты сможешь доказать все свои положения». Fogli A 10 г.

Словосочетание «механистический подход к биологии» стало с начала XX века почти что ругательным в устах учёных, исследующих процессы в человеческом организме биофизическими и биохимическими методами. Но не надо забывать о том, что Леонардо стоял у истоков изучения того, что представляет из себя человек. К тому же методами механики он изучал, в основном, как раз те проблемы, суть которых определяется законами статики, динамики, движения жидкости. Ведь, в самом деле, при оценке силы, развиваемой рукой, определяющее значение имеет расстояние от точки крепления мышца к кости до оси поворота, то есть момент силы, *«именно поэтому рука обезьяны может развивать большую силу, чем рука человека».* Fogli B 9 v.

Сама Природа использовала принцип рычага также и при разработке конструкции челюсти человека и животных (см. раздел 3.6.1. Суть явления) и посадила коренные зубы с большой рабочей поверхностью вблизи от оси поворота, а наиболее удалённые от оси, передние зубы наделила малой рабочей поверхностью?

Леонардо смог даже объяснить, почему Природа сделала клапаны сердца трёхстворчатыми, а не составленными из четырёх или двух мембран (сама постановка такой проблемы античными и средневековыми предшественниками просто немыслима). Его решение такой сложной проблемы включало и элементы прочности, и математическую оценку, и даже учёт формирования вихря при движении жидкости через клапан – Windsor 19117 v, 19116 r, 19116 v (см. Рис. 74 в разделе 3.6.1).

Если же Леонардо и допускал неточности и ошибки в попытках объяснить сложные эффекты в организме на основе доступных научных знаний, то это обычно были процессы, определяемые термодинамикой и химией. Одна из таких ошибок – попытка объяснить нагревание человеческого тела за счёт трения крови при прохождении через микроскопические отверстия – рассмотрена в разделе 4.1-б главы IV. Ошибки Леонардо. Да, кровь при движении по сосудам должна нагреваться из-за трения, но эффект этот в действительности пренебрежимо мал, а додуматься до изучения тонких физико-химических процессов в митохондриях Леонардо не мог.

Физиология. Медицина

Представления средневековых врачей о физиологии человека основывались на работах Галена (130-200 н.э.), придворного врача Римского императора Марка Аврелия, и Авиценны (980-1037). Гален полагал, что в основе жизнедеятельности организма лежит «пневма» - целесообразно действующее, невесомое, нематериальное начало, поступающее в организм с воздухом при дыхании, которое затем подвергается переработке в сердце, и распределяется по всему организму. Практическая медицина строилась на представлении о том, что соотношение четырёх главных «соков» организма – крови, слизи, жёлтой желчи и чёрной желчи – определяет особенности жизнедеятельности организма в норме и патологии.

Фактически полное отсутствие во времена Леонардо биофизических и биохимических методов исследования (алхимики имели дело в основном с металлами и неорганическим соединениями) не позволило ему далеко продвинуться к пониманию функций внутренних органов человека. Стремление таковое у него было, о чём свидетельствуют многочисленные записи при анатомических исследованиях и, в частности, следующий список вопросов, заслуживающих изучения:

«Покажи как возникает простуда... Эпилепсия... Сумасшествие... О Природе, которая необходимостью делает жизненные и действующие инструменты удобными, требуемой формы, и в необходимом положении...Откуда возникает молоко...Откуда сон...Откуда слёзы...Как питание распределяется по сосудам...». Fogli B 21 r.

В список на этой странице не попали механизмы органов чувств, изучению которых Леонардо да Винчи уделял большое внимание. Его открытиям в области механизма зрения и физиологической оптики посвящены специальные разделы в главе Н-5. Оптика и параграф 4.3а в главе IV. Ошибки Леонардо. Подробный анализ позиций Леонардо в исследованиях других органов чувств дан в работе К. Киле «Физиология чувств Леонардо да Винчи» [66].

Наиболее крупным научным результатом Леонардо в физиологии является обнаружение и детальное исследование происхождения и симптомов атеросклероза, одной из наиболее распространённых причин старения. Обсуждение этого вопроса вынесено в раздел 3.6.2. Обобщающий вывод с акцентом именно на то, как Леонардо пришёл к данному открытию.

Интересно отметить, что сформулированные им в легко запоминаемой стихотворной форме советы по здоровому образу жизни вполне соответствуют рекомендациям врачей 21 века:

Se voi star sano,
osserva questa norma:

Non manjar sanza voglia, e cena leve;
mastica bene, e quel che in te riceve,
sia ben cotto e di semplice forma.
Chi medicina piglia, mal s'informa;
Guarti dall'ira e fuggi l'aria grieve;
su diritto sta, quandoda mensa leve;
di mezzogiorno fa che tu non dorma.
El vin sia temprato, poco e spesso,
Non for di pasto ne' e stomaco voto;
non aspectar, ne' indulgiare il cesso;
se fai esercizio, sia di piccoli moto.
Col ventre resupino e col capo depresso non star, e sta coperto ben di notte;
el capo ti posa e tien la mente lieta.
Fuggi lussuria, e attienti alla dieta.

C.A. 78 v.b

Чтобы быть здоровым,
соблюдай эти правила:

Не ешь без желания, получай удовольствие от пищи; хорошо пережёвывай пищу, она должна быть хорошо приготовленной и простой.
Тот, кто принимает лекарства, разрушает здоровье.
Не гневайся. Избегай спертого воздуха.
Держись прямо, когда выходишь из-за стола.
Не позволяй себе спать среди дня.
Будь умерен в вине, пей часто понемногу
и не на пустой желудок.
Не задерживайся надолго с посещением уборной.
Физические упражнения должны быть умеренными.
Не оставайся надолго с животом выше головы.
Будь хорошо укрыт ночью.
Давай отдых голове и будь радостен.
Избегай распутства и соблюдай диету.

Н-9.3. «Что такое жизнь?»

«Трудно дать точное определение, что такое жизнь. Грубо говоря, организм считается живым, если активны и метаболизм, и размножение». Такой ответ на поставленный вопрос даётся в Энциклопедии 2005 «Encarta». Поразительно, как Леонардо да Винчи при весьма ограниченных возможностях научного исследования и под прессом общепринятых Галеновских представлений об организме смог подняться до понимания, конечно же, не полного и не всегда достаточно надёжно обоснованного, сущности жизни, весьма близкого к представлениям современной науки. Приведём в подтверждение сказанного несколько выводов Леонардо да Винчи о сущности жизни.

Метаболизм – обмен веществ

«Тело всякого существа, которое чем-либо питается, беспрерывно умирает и беспрерывно возрождается, так как пища может входить только в те места, откуда прежняя пища ушла, а если она ушла, она уже не живая. И если ты не возвратишь ему столько же пищи, сколько её ушло, то ослабляется жизнь, если ты совсем лишишь его пищи, жизнь совершенно разрушается. Но, если возвратишь ему столько пищи, сколько он потребляет за день, то возрождается такое же количество жизни, какое потратилось за день, подобно пламени свечи, которое благодаря пище, идущей от свечи, быстро снизу восстанавливает то, что, потребляясь, умирает наверху и что, умирая, превращается из яркого света в коптящий дым; благодаря движению пищи это пламя в каждое данное мгновение и живо, и мертво». Fogli B, 28

Размножение

Одна из записей на полях рисунка «Великой Леди Анатомии»:

«Порядок твоего изложения должен начинаться с образования младенца в матке; и нужно сказать, какая часть его образуется сначала, и так далее, последовательно, на протяжении всего времени беременности... И ска-

зать о том, как ребёнок питается, частично основываясь на сведениях, почерпнутых из наблюдений над куриными яйцами». Quaderni I, 12 r

При выполнении этой программы Леонардо исследовал структуру матки и развитие ребёнка на разных стадиях (некоторые ошибки на его анатомических рисунках связаны с использованием материалов, полученных при анатомировании коров).

«Ты изобразишь печень зародыша с её отличиями от печени взрослого... Скажи о том, что на 4-ом месяце младенец имеет половину длины, которую он имеет при рождении, то есть в 8 раз меньший вес». Quaderni I, 10

Размышляя о зарождении ребёнка, Леонардо сделал верное замечание, имеющее прямое отношение к природе наследственности:

«Чернота в Эфиопии не имеет причиной солнце, ибо, если чёрный мужчина оплодотворит чёрную женщину в Скифии, она произведёт на свет чёрное дитя, а если чёрный мужчина оплодотворит белую женщину, она принесёт серое потомство. И это показывает, что семя матери имеет влияние на зародыш, равное с семенем отца». Quaderni III, 8 v.

Движение

«Движение есть причина всякой жизни». Ms. H 141

«Признаки жизни в лягушке сохраняются в течение нескольких часов после удаления головы, сердца и внутренностей. Но, если проколоть спинной мозг, она дёрнется и умрёт. Все нервы животных исходят отсюда... и здесь, по-видимому, находятся основы движения и жизни». Quaderni V 21 v. Вспомните о знаменитых опытах Л. Гальвани по «животному электричеству» (1791), в которых также исследовалась нервная система лягушки!

Тепло

«Там, где есть жизнь, есть тепло; там, где есть жизненное тепло, есть движение жизненных соков». C.A. 80 r.b.

«Тепло даёт жизнь всякой вещи, как показывает тепло курицы, которое мало-помалу даёт жизнь и начало цыплятам, а солнце производит цветение и животворит все плоды». Quaderni IV, 13

Следует подчеркнуть, что все четыре признака-характеристики жизни в мировоззрении Леонардо присущи не только органической жизни, но и жизни Земли, о чём «говорили ещё древние» (к аналогии между микрокосмом и макрокосмом Леонардо добавил исследованные в деталях процесс кругооборота воды в Природе, а также возникновение, формирование и разрушение горных пород). Более того, живым для Леонардо является и космос, о чём древние не говорили. По-видимому, вне такой философии он едва ли стал думать о природе Луны и не пришёл бы к выводам о наличии гравитации на ней и специфических термических условиях на её поверхности.

Приспособление к условиям существования.

В систематизированных сборниках записей Леонардо да Винчи обычно выделяют в особый раздел его высказывания по сравнительной анатомии. Размышляя о сущности жизни, он внимательно исследует сходство и различия между видами животных и *ищет причины*. Вполне естественными и созвучными с общепри-

нятыми в то время представлениями являются его заметки о существовании близких по строению видов животных: человек и обезьяны, лев и примыкающие к нему, кони, рогатые животные, бесконечное разнообразие водных животных и насекомых. Представления эти со времён Галена служили обоснованием использования врачами при лечении людей сведений о структуре тела, полученных при анатомировании животных (главным образом обезьян и свиней). При анализе сравнительной анатомии и физиологии животных Да Винчи пошёл существенно дальше предшественников. Показательны его выводы из исследования лягушек: *«Изобразишь при этом сопоставлении ноги лягушек, которые имеют большое сходство с ногами человека как в костях, так и в своих мышцах...»*. Fogli B, 9v. Глубокая общность между столь далёкими видами животных позволила ему сделать обобщающее заключение из описанного выше классического эксперимента по прокалыванию спинного мозга лягушки.

Значительно большее внимание, уже в интересах науки, а не просто для анатомии как таковой, Леонардо уделял исследованию различий между животными:

«Опиши разнообразие внутренностей человеческой породы, обезьян и подобных им. Затем их отличия у львиной породы, затем у рогатого скота и, наконец, у птиц, и используй это описание для рассуждения». Fogli B 37

Человек – венец творения, но Леонардо отмечает, что во многих отношениях он уступает животным (сила рук обезьяны, способность летать у птиц, органы чувств):

«Среди всех животных кот обладает самым острым чувством зрения и слуха. И его чувство обоняния почти также хорошо. Когда не хватает зрения, кот использует слух. Он всегда держит ухо в состоянии готовности, как воронку, чтобы получить впечатление о шумах в воздухе, и посылает их по длинному проводнику в общий центр чувств». Madrid II, 25 r

«Препарируй летучую мышь, изучи её внимательно и по этой модели сконструируй аппарат». Ms. F 41 v.

Леонардо верно указывает на причину совершенства творений Природы – наилучшее приспособление к условиям существования:

«Ничто не является излишним и ничто не является недостаточным у какого-либо вида животных или произведения природы, если только дефект не порождается там самым средством, при помощи которого природа творит...». Quaderni I, 4 v

«Тело любого живого организма состоит из органов и выделений, которые необходимы для его существования. Посмотрите на рыбу, которая постоянно испытывает трение при движении в воде. Будучи дочерью природы, она подготовлена к этому и выделяет из пор между соединениями чешуек некую слизь, которая с трудом может быть отделена от рыбы и выполняет ту же роль, что и смола для корабля». Forster III 38r

На основании своих исследований причин совершенства животных Леонардо да Винчи формулирует необходимость наилучшего соответствия организма условиям жизни в качестве Закона Природы:

«Необходимость – наставник и опекун природы. Необходимость – тема и изобретательница природы, и узда, и вечный закон». Forster III, 14.

Духовность человека

Вопросы о том, что представляет собой душа человека, как связана с телом, где находится, в течение более чем тысячи лет обсуждались философами, теологами и анатомами. Твёрдая материалистическая позиция Леонардо да Винчи ясно видна из следующих высказываний:

«Пусты и полны заблуждений те науки, которые не порождены опытом, отцом всякой достоверности, и

не завершаются в наглядном опыте. И если мы подвергаем сомнению достоверность всякой ощущаемой вещи, тем более должны мы подвергать сомнению то, что восстаёт против ощущений, каковы, например вопросы о сущности бога и души и тому подобные, по поводу которых всегда спорят и сражаются... Дальнейшее определение души я предоставляю духовным лицам, отцам народным, которые по наитию знают все тайны». T.P. 33; Quaderni IV, 10

Особое внимание при изучении мозга Леонардо обратил на связи органов чувств с определёнными разделами мозга и пришёл к выводу о том, где находится душа, а по существу, с каким разделом мозга связана духовность человека (использование этого понятия позволяет чётче указать на то, что Леонардо искал на самом деле реальный центр мыслительной деятельности человека):

«Душа, по-видимому, находится в судящей части, а судящая часть, по-видимому, в том месте, где все чувства сходятся и которое именуется общим чувством... И она не вся во всём теле, как многие думали, но вся в этой части; ведь если бы она была вся во всём и вся в каждой части, органам чувств не было бы необходимости сходиться в одно место... Сухожилия со своими мускулами служат нервам, как солдаты своим кондотьерам, а нервы служат общему чувству, как кондотьеры полководцу; и общее чувство служит душе, как полководец своему господину... общее чувство есть местопребывание души. Память есть её телохранитель, а чувствилище — её референдарий, поскольку чувство одаряет душу, а не душа чувство». Fogli B 2

«Общее чувство приводится в движение посредством вещей, данных ему другими пятью чувствами. Пять чувств следующие: зрение, слух, осязание, вкус, обоняние... Предметы посылают свои изображения пяти чувствам, от которых они передаются чувствилищу, и оттуда, судимые, посылаются памяти, в которой, смотря по силе, сохраняются более или менее». C.A. 90 b

«Каждая часть имеет склонность соединиться со своим целым, дабы избежать своего несовершенства. Душа хочет находиться со своим телом, потому что без органических орудий этого тела она ничего не может совершить и ощущать». C.A. 59 b

Естественным следствием материализма Леонардо были его резкие выступления против представлений современников о духах:

«Может ли дух говорить или нет. Не может быть голоса там, где нет движения или биения воздуха; не может быть биения воздуха там, где нет соответствующего орудия; не может существовать бестелесного орудия. Если это так, то дух не может иметь ни голоса, ни формы, ни силы; а если он примет тело, то не сможет проникать или входить туда, где входы заперты. И если бы кто сказал, что дух принимает тела различных форм посредством скопления и сжатия воздуха и посредством этого говорит и движется с силой, на это я отвечаю: там, где нет сухожилий и костей, не может быть силы, и она не может быть приводима в действие ни в одном из движений этих воображаемых духов. Беги от учений таких умозрителей, ибо их доводы не подкрепляются опытом»! Ms. B 4 v

Поразительно, как просто и доходчиво, с использованием наглядных и легко ощущаемых аргументов, Леонардо да Винчи возражает против безоглядной веры в духов и в нематериальные «голоса», процветавшей в Средневековье и сохранившейся до нашего времени. А ведь было это написано в 1489 году!

И в заключение разговора о душе нельзя не привести призыва Леонардо к человеколюбию, обращённого в первую очередь к властителям, которые вели нескончаемые войны с соседями во имя своих корыстных интересов:

«И ты, человек, рассматривающий в этом моём труде удивительные произведения природы, если ты решишь, что разрушить мой труд — дело преступное, подумай, что гораздо более преступно отнять жизнь у человека! И если его строение тебе кажется удивительным произведением, подумай, что оно — ничто в сравнении с душой, которая обитает в этом здании...». Fogli A 2.

Леонардо и Везалий. Леонардо начал писать трактат об анатомии ещё в 1489 г. Лишь в 1509-1510 гг. ему довелось работать не в одиночку, а с молодым талантливым профессором анатомии Университета в Павии Марком Антонио делла Торре (1473-1511). На одном из листов того периода имеется запись: «*Этой зимой 1510 года я надеюсь закончить всю свою анатомию*». Fogli A 17 г. Но делла Торре в 1511 г. умер после анатомирования человека, погибшего от бубонной чумы, пытаясь открыть природу этой болезни. Бурные политические события, вынужденные переезды в Рим, Флоренцию, затем во Францию не дали Леонардо возможности опубликовать трактат. В 1543 году Андреа Везалий (1514-1564), профессор анатомии, работавший в Бельгии, Париже и Падуе, издал в Базеле «Анатомию человеческого тела» - "De humani corporis fabrica". Большая часть иллюстраций для книги была сделана художником Яном ван Калкаром, и Тицианом. Публикация книги Везалия и книги Коперника о гелиоцентрической системе рассматривается историками как начало современной науки.

Следует отметить, что анатомические работы Леонардо да Винчи оказали явное влияние на работу Везалия. По завещанию Леонардо все его манускрипты перешли к Франческо Мельци, который бережно хранил и систематизировал их, предоставлял посетителям для изучения и копирования (умер Франческо Мельци в 1570 г.). Известно [82], что Дюрер сделал копии нескольких анатомических рисунков Леонардо. Значительная часть результатов исследований Леонардо по механике была опубликована Миланским математиком Джироламо Кардано в двух томах своих работ без упоминания авторства Леонардо да Винчи. Установлено, что некоторые рисунки в книге Везалия восходят к Леонардо. Например, изображение матки в первом издании книги содержало те же ошибки, что и в упомянутом выше рисунке "Великой Леди Анатомии»". Изображение мускулатуры руки на заглавном листе анатомии Везалия почти одинаково с соответствующими рисунками Леонардо [20].

Очень красочно сравнил немецкий анатом начала XX века М. Холл профессионализм выполнения анатомических рисунков у Леонардо да Винчи и у Везалия:

Рис.56



«Скелеты Леонардо живут, если можно так выразиться, тогда как Везалий просто соединил кости человека без учёта естественных взаимоотношений их в теле живого человека; скелеты Везалия, если бы они ожили, не могли бы ни стоять, ни ходить, ни дышать» (цитируется по [20]). Анатомия никогда до работы над этой книгой не была в сфере моих интересов. Посему, наткнувшись как-то в букинистическом магазине на альбом анатомических иллюстраций Везалия, изданный Саундерсом и О'Маллей, теми же авторами, которые несколько позднее систематизировали и прокомментировали анатомические работы Леонардо, я купил книгу просто из уважения к классику. Прочитав цитированное выше замечание, решил проверить. И, действительно, М.Холл прав. Взгляните, например, на **Рис. 56** скелета из альбома Везалия [101]. Выполнено с претензией на изящество, но изображённому на рисунке скелету не позавидуешь, он очень «болен»: помимо дегенеративных изменений в позвоночнике (отсутствие двойной кривизны) у него также бочкообразная грудная клетка, свидетельствующая об эмфиземе, хронической болезни лёгких, и искривлённые кости ног, что бывает либо при врождённом сифилисе, либо от недостатка витамина Д. (автор благодарен за этот анализ доктору Илье Полищуку). Налицо явная разница в профессиональном уровне Везалия – анатома, и профессионального уровня малоизвестного художника Яна Ван Калкара - иллюстратора его книги.

Задачи-Леонардески

35. Ответьте на вопросы, поставленные Леонардо: *«Покажи, как возникает эпилепсия. Откуда возникает молоко? Откуда сон? Откуда слёзы?»*. Fogli B 21 r.

36. Какие типы пищеварительной системы Природа изобрела для разных животных? Сравните системы пищеварения человека и коровы, курицы и ласточки, варана и змеи, рыбы и медузы.

37. Какие специфические методы Природа изобрела для уменьшения потерь тепла животных, обитающих в очень холодных зонах? Сравните северного оленя, моржа, бурого и белого медведя, пингвина, калана.

Н-9.4. Жизнь растений

В манускриптах Леонардо записей, относящихся к ботанике, гораздо меньше, чем заметок об анатомии и физиологии человека и животных. Наибольшее количество записей о растениях содержится IV главе Трактата о Живописи. Подсчитано, что в манускриптах Леонардо упоминаются названия 110 растений. Но Леонардо – учёный даже при написании Трактата для художников не мог воздержаться от обсуждения важных научных положений, касающихся обсуждаемых эффектов. Так, запись о годовых кольцах, по которым можно судить и возрасте ветки и о погоде в годы её роста, он завершает примечанием:

«Хотя это живописи ни к чему, всё же я об этом пишу, дабы опустить возможно меньше из того, что известно мне о деревьях». Т.Р. 829

Дерево было для Леонардо да Винчи идеальным творением Природы благодаря его неразрывному единству с почвой, водой, светом и воздухом. К изучению жизни растений Леонардо да Винчи подходит так же, как и к изучению человека и животных, с позиций функциональности и причинности, и совершает ряд открытий, повторенных лишь через столетия. Успехи, достигнутые Леонардо да Винчи при анализе характерных особенностей жизни растений при чрезвычайно малом объёме видимой работы (и это следует особо подчеркнуть), определяются тремя моментами. Во-первых, он правильно ставил вопросы в поиске сути изучаемых явлений (яркий пример владения эффективным научным методом). Во-вторых, Леонардо опирался при исследовании растений на открытые им законы природы. И, наконец, в третьих, сама концепция жизни растения и выяснение особенностей её конкретных проявлений строились им по аналогии с изучением жизни человека и животных. Вот один лишь наглядный пример с зафиксированными в дневниках аргументами Леонардо – установление правила, утверждающего, что суммарное сечение ветвей дерева равно сечению ствола до точки разветвления (при желании его можно было бы назвать и **«правилом ветвления»**), **Рис. 57**:

«Все ветви деревьев на каждой ступени их высоты, будучи сложены вместе, равны толщине основного ствола. Все ветвления вод на каждой ступени их течения, при постоянной скорости, равны ширине основного потока». Ms. I, 12 v

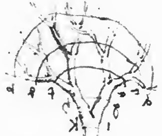


Рис.57

Налицо использование идеологии законов сохранения и принципа сохранения потока массы при течении жидкости. Кстати, в отмеченной аналогии заложена также возможность уточнения в дальнейшем сформулированного правила для случая непостоянства скорости потоков. К этим ссылкам на физические законы следует добавить ещё указания Леонардо на аналогию ветвления растения с закономерностями анатомии органов дыхания, кровеносной и нервной систем человека. Первое: *«общее количество воздуха, вошедшего в трахею, равно количество воздуха, протекающего по разветвлениям...* /с последующими словами о стволе и ветвях дерева/», Quaderni I, 5v. Второе - построение анализа кровеносной системы, исходя из структурного сходства с разветвлением ствола растения: *«Все вены и артерии возникают от сердца. Их максимальное сечение наблюдается в месте соединения с сердцем. Чем дальше они отходят от сердца, тем тоньше становятся и разветвляются... Сравните с растениями, у которых ветвление исходит из толстой нижней части дерева...»* Fogli B 11 r.

Перечисленные ниже результаты исследований Леонардо да Винчи характеризуют его стремление понять основы жизни растений, столь необычное для XVI даже для XVIII столетий.

Питание

«Солнце даёт растениям душу и жизнь, а земля питает их влагой. Последнее я уже проверял на опыте, оставляя у тыквы только один крошечный корешок и хорошо питая её водой. Эта тыква полностью принесла все плоды, какие только могла, и их было около шестидесяти, самых крупных». Ms. G 32 v; T.P. 832

«Травы и растения будут тем более бледного цвета, чем более почва, которая их питает, скудна и бедна влагой; почва бывает более бедной и скудной на скалах. И деревья будут тем мельче и тоньше, чем ближе они к вершинам гор». Urb. 236 v.

Таким образом, Леонардо да Винчи правильно понимает, что для существования растения необходимы солнце, вода и вещества, забираемые из почвы (о роли воздуха говорится в цитате, приведённой в следующем разделе). Следует отметить, что Бельгийский врач Ян Ван Хельмонт в XVII веке выращивал дерево в керамическом сосуде, добавляя только воду. Вес дерева сильно увеличился, в то время как земля потеряла лишь несколько граммов. И Хельмонт пришёл к заключению, что всё растение было создано лишь за счёт воды [48]. Правильное объяснение Леонардо, включающее в число факторов, определяющих рост растения солнце, почву, воду и воздух, было подтверждено исследованиями химиков Пристли, Лавуазье, Ингенхауза и Соссюра (de Saussure) в конце XVIII века.

Законы филлотаксиса - расположение листьев

Образование новых листьев на растении есть, по Леонардо, одна из ключевых проблем жизни растений, проблема, требующая такого же детального изучения, что и столь важные для жизни Земли законы, определяющие превращения, происходящие с водой:

«Покажи, как облака образуются и растворяются... как вода конденсируется и превращается в лёд, как образуются новые формы... как образуются сосульки и ледяные иголки на камнях в холодных местах... как образуются новые листья на деревьях». Ms. F 35r

Через листья растение получает от солнца «душу и жизнь», потому листья должны быть расположены на ветках не хаотически, а по определённым «правилам» – законам. Плиний описал только листоположение 1/2 (числитель дроби означает число оборотов вокруг ветви винтовой линии, проходящей последовательно через первый лист, второй и до первого прикрывающего листа; знаменатель указывает число листьев в цикле). Леонардо считал наиболее распространённым расположение 2/5 (пример – лилия, орех), **Рис. 58** (См. раздел Иллюстрации) (характерные точки на стволе лилии показывает моя помощница - шестилетняя внучка Лера), отметил также случаи 1/3 и 3/8 - расположение ветвей сосны. Позже расположение листьев изучал Броун (1658). Леонардо впервые правильно объяснил, для чего растение создаёт закономерное распределение листьев:

«Лист всегда поворачивает свою лицевую сторону к небу, дабы смог он лучше воспринять всею своею поверхностью росу, которая медленным движением нисходит из воздуха. И эти листья распределены на своих растениях так, что один заслоняет другой сколь можно меньше, вплетаясь один поверх другого, как видно это у плюща, покрывающего стены. И такое переплетение служит двум целям: оставить промежутки, чтобы воздух и солнце могли проникать сквозь них и – вторая причина – чтобы капли, которые падают с первого листа, могли падать также и на четвёртый или на шестой». Ms. G 27 v.

Залечивание ран

«Если ветка дерева срезана и в место среза вставлена прививаемая ветка, то со временем привой вырастет значительно больше, чем питающая его ветка, поскольку снабжение жизненными соками брошено на защиту от повреждения». T.P. 240 r.

Согласно современным исследованиям, травматический сок растения включает комплекс гормонов (цитокининов, ауксинов, гиббереллинов и др.), производимых растением для залечивания ран [48].

Зарождение растения. Место зарождения плода

«Всякая ветвь и всякий плод зарождается над местом прикрепления листа, который является для них матерью, доставляя им воду дождей и влагу росы, выпадающей на них ночью, и часто он уберегает их от чрезмерного жара солнечных лучей». Ms. G, 33 v.

«Я усердно наблюдал жизнь тыквы и узнал, что ночная роса обильно проникала своей влагой через черешки широких листьев, питая растение с его детьми, или, вернее, с теми яйцами /имеются в виду почки – М.М./, которые должны производить его детей... Лист есть сосок или грудь ветви или плода, рождающихся на следующий год». Ms. G, 32 v; T.P. 832

Рост растения

Начальная стадия формирования растения из семени. Интересный вывод сделал Леонардо да Винчи, анализируя начальную стадию формирования растения из семени и распределение массы растения на разной высоте. *«Растение не берёт начала от своих корней, а корни и ветви имеют своё начало в нижней части растения, которая находится между воздухом и землёй. И все более низкие части и более высокие части растения всегда меньше, чем часть, находящаяся на границе с землёй...* /причина этого лежит в том, что первоосновой растения было семя/, *и каждый может видеть пример этого в прорастании персика из семени, что показано на рисунках».* Fogli B 11 r.

Текст и рисунок растения на начальной стадии разделения ростка из семени на корень и ствол, находятся в Анатомическом Кодексе на странице с описанием сердечнососудистой системы человека, и потому, видимо, не был отмечен исследователями научного наследия Леонардо.

Годовые кольца как свидетели условий роста растения. Леонардо да Винчи, видимо, впервые объяснил происхождение годовых колец на срезах стволов и веток деревьев и указал, что толщина колец определяется погодными условиями:

«Круги срезанных древесных ветвей показывают число их лет и то, какие были более влажными или более сухими, смотря по большей и меньшей их толщине». T.P. 829.

Ветвление – смотрите цитату и обсуждение в начале раздела, а также замечание о причине большего и лучшего развития веток на южной стороне дерева:

«Как общее правило, почти все прямые линии растений искривляются, обращая выпуклую часть к югу; и ветвления их длиннее, толще и гуще на южной стороне, чем на северной. Происходит это оттого, что солнце притягивает влагу на ту сторону растения, которая к нему ближе». Ms. G, 32 v.

Как заметил Леонардо, возраст дерева может быть определён не только по годовым кольцам, но также и по числу последовательных разветвлений на основных ветках, T.P. 246 r.

Оценка скорости образования почвы

Жизнь растений есть важнейшая составляющая и неотъемлемая часть жизни нашей Земли. Растения формируют почву. И Леонардо да Винчи предлагает провести простой, и, как обычно, красивый фундаментальный эксперимент для оценки скорости формирования почвы (цитата несколько сокращена):

«Возьми вазу, наполни её чистой землёй и поставь на крышу. Ты увидишь, что вскоре начнут расти разные травы. Когда они вырастут, то уронят в землю семена, и после того, как дети упадут к ногам своих родителей, ты увидишь, что почва превратилась в субстанцию земли. Ты сможешь наблюдать, что последующие поколения, следуя естественным путём, будут умирать и разлагаться. Когда пройдёт десять лет, и ты измеришь, на сколько увеличился вес почвы, ты сможешь оценить, на сколько увеличилась масса почвы на всей земле, и, умножая, узнаешь, как увеличивается масса почвы на Земле за тысячу лет.... Понимаешь ты теперь, почему в горных долинах стены древних и разрушенных городов покрыты землёй и спрятаны»? C.A. 265 r-a

H-10. Лингвистика

Кодекс Тривульциано был первым манускриптом Леонардо да Винчи, который мне довелось купить и внимательно проштудировать во время работы в Италии в 1994-95 гг. Десятки страниц в Кодексе заполнены колонками слов на разных диалектах Итальянского языка и Латыни **(см. Рис. 57)** всего около 8.000 слов. К ним следует прибавить ещё как минимум 2.000 слов из Виндзорского и Мадридского Кодексов. И все равно это будет в итоге, по-видимому, всё же лишь малая часть материалов, сохранившихся от его *«Libro di voce»* – *«Книги Слов»*. Работа по составлению словаря находилась вроде бы в стороне от главного направления научных исследований Леонардо да Винчи, но её объём, а, следовательно, и огромное количество затраченного времени ставят вопросы: «*ЗАЧЕМ* он это делал? и «*КАКИМИ ПРИНЦИПАМИ* руководствовался при составлении словаря?».

Итак, какова была цель такой трудоёмкой работы Леонардо? Авторы некоторых публикаций рассматривали *«Libro di voce»* просто как черновые записи по изучению латыни и итальянского языка, другие считали, что Леонардо пытался составить словарь Флорентийского (тосканского) диалекта простонародного Итальянского языка. Была даже попытка представить столбцы слов в Кодексе Тривульциано как секретный дневник Леонардо и расшифровать его мысли на основе психоанализа [104]. Конечно, при большом желании можно из тысяч слов организовать некое подобие связных мыслей, нечто вроде игры буриме, популярной в давние годы. Но Леонардо был очень рациональным человеком и просто не мог позволить себе попусту тратить время на какой-то секретный дневник.

Почему Леонардо да Винчи не писал свои научные работы на латыни, официальном научном языке науки в то время? В литературе можно найти *простое объяснение*: Леонардо, будучи внебрачным сыном Флорентийского юриста Пьеро да Винчи, не имел доступа к получению университетского образования, основанного на латыни. По-видимому, это только полправды. Леонардо активно использовал в своей научной работе книги на латыни в различных областях. Более обоснованным является предположение, что он не принимал латынь как язык, подходящий для детального описания тонких эффектов в явлениях природы.

Занимаясь исследованиями естественнонаучных явлений, Леонардо стремился представлять свои результаты в легко понимаемом и однозначном виде. Научные мысли должны быть выражены, как он считал, подходящими, правильными словами:

«Не делай так, как те, кто, когда не знает, как описать нечто в соответствии с надлежащим словарём, начинают разглагольствовать с невыносимым занудством и путаницей мыслей». С.А. 206 v.a.

Этот тезис Леонардо, инициировавший его работу над словарём, следует поддержать и уточнить следующими высказываниями великих мастеров языка:

«Слово принадлежит наполовину тому, кто говорит, и наполовину тому, кто слушает». М. Монтень

«Единственное средство умственного общения людей есть слово, и для того, чтобы общение это было возможно, нужно употреблять слова так, чтобы при каждом слове несомненно вызывались у всех соответствующие и точные понятия». «Если бы я был царь, я бы издал закон, что писатель, который употребит слово, значение которого он не может объяснить, лишается права писать и получает 100 ударов розги». Л.Н.Толстой

Для того чтобы читатель, основные интересы которого лежат, по-видимому, в области естественных наук, лучше почувствовал важность, сущность и трудность проблемы, которую поставил и настойчиво пытался решить Леонардо да Винчи, нам полезно будет немного отойти в сторону и обсудить всем памятную со школьных лет оценку, которую дал великому и могучему Русскому языку Михаил Васильевич Ломоносов – первый русский академик. Ломоносов находил в нем соединенные вместе *«великолепие испанского, живость французского, крепость немецкого, нежность итальянского, сверх того богатство и сильную в изображениях краткость греческого и латинского языка».* В подтверждение объективности данной сравнительной оценки разных языков можно привести мнение, высказанное сто лет спустя независимым экспертом, знаменитым французским писателем Проспером Мериме: *«французский язык, подкрепленный греческим и латинским, призвав на помощь все свои диалекты и даже язык времен Рабле, - разве только он один мог бы дать представление об утонченности и об энергической силе русского языка».*

Несомненно, в краткой оценке Ломоносова однословные оценки наиболее ярких особенностей разных языков всё же весьма утрированы. Важно, что история развития каждого национального языка уникальна, у разных языков сильно отличаются внутренние законы построения грамматических конструкций и словообразования. Эти индивидуальные особенности могут, в частности, либо благоприятствовать, либо, напротив, сдерживать его применение для изложения и возникновения научных идей. Языки с простым синтаксисом, со строго определённым порядком слов в предложении и укороченными грамматическими формами превосходно приспособлены для выражения научных идей в ясном и сжатом виде, но не очень хороши для выяснения деталей, тонких нюансов сложных процессов. Другие языки допускают построение длинных фраз с уточняющими придаточными предложениями и образование сложных слов и новых прилагательных. Они наиболее хороши для глубокого изложения теорий и детального описания конкретных научных результатов. Если говорить об использовании какого-либо языка для описания научных результатов, конечно же, естественно встаёт вопрос о разумном, *небесконтрольном* развитии языка, введении множества новых понятий и терминов таким образом, чтобы они согласовывались с внутренними законами языка, и чтобы «при употреблении каждого слова у всех несомненно вызывались соответствующие и точные понятия».

Бурный процесс фактически бесконтрольного заимствования иностранных слов наблюдается в наше время во всех национальных языках. Употребление нечётко определённых понятий очень опасно для научного языка. Во Франции в 1950-е годы был организован Консультационный комитет по проблемам научного языка, включающий учёных, лингвистов, редакторов научных журналов. Председателем Комитета был Луи де Бройль, Нобелевский лауреат по физике.

Стоявшая перед Леонардо в конце 1490-х задача модернизации «нежного» тосканского диалекта итальянского языка таким образом, чтобы он в него естественным образом вошла естественнонаучная тематика, была значительно сложнее, чем проблема модернизации французского языка, поставленная перед Комиссией де Бройля в 1950-х годах. Франция уже более тысячи лет существовала как единое национальное государство, а Италия в средние века была разбита на множество отдельных государственных образований разного размера, в течение столетий сохранявших древние корни (латинские, этрусские, греческие, кель-

тские), но подвергавшихся сильным иноземным воздействиям (германцы, норманны, французы, арабы, славяне и др.). Единого Итальянского языка в то время просто не существовало. Латынь оставалась языком церкви и науки, но постепенно выходила из обихода. Объединение Италии произошло в конце XIX века, но до формирования единого языка ещё далеко. Показательно, например, понятие ***сейчас*** на севере звучит как *odesso*, на юге ***ora***, в районе Рима ***mo***; слово ребёнок в разных районах звучит как *bambino, bimbo, cit, bagai, picciotto*, слово работать как *lavorare, travagliare, faticare*. Такое языковое многообразие допустимо для понятий разговорной лексики, но в науке каждое понятие должно быть чётко и однозначно определено. Мы вернёмся к рассмотрению вопроса об определении научных понятий в разделе 3.4.3 главы III. РЕШЕНИЕ.

Итак, мы выяснили вопрос, почему Леонардо занимался проблемой составления Итальянского Толкового Словаря, более подходящего для описания научных исследований, чем наиболее популярный в то время тосканский диалект, язык Данте, Петрарки и Боккаччо. Черновой характер записей в Кодексе Тривульциано позволяет заглянуть на «кухню» работы Леонардо по усовершенствованию лексики Итальянского научного языка. Давайте посмотрим, ОТКУДА он выбирал слова, КАК мог подряд, без помарок записывать тысячи слов в тетрадь, КАКОЙ СИСТЕМОЙ подбора слов руководствовался.

Толкование слов

На страницах 20-27 Кодекса Тривульциано можно увидеть фрагменты конечной версии толкового словаря Леонардо. Ниже приведена часть списка слов, начинающихся с буквы **t** [Tr. 23]:

turbine, turpidine:	*la tenpesta del mare e de l'aria*	*вихрь в море или в воздухе*
turbe, turpe:	*revolution di vento*	*вращение воздуха*
torrido:	*ardente*	*горящий*
torente:	*fiumi che secano la state*	*реки, пересыхающие летом*
tetro:	*oscuro e nero*	*мрачный и тёмный*
tremebondo:	*tremante*	*дрожащий*
tenace:	*tegniente*	*липкий, клейкий*
turpe:	*brutto e ttristo*	*противный, позорный*
turgido:	*gonfiato*	*надутый, надменный*
tentigine:	*pizzicore*	*зуд*
torpore:	*piegritia*	*непреодолимое желание*
		слабость, леность
temerario:	*chi non conoscie suo bisognio*	*тот, кто не знает своего дела*
tortura:	*la colla*	*клей*
terso:	*pulito, riforbito*	*блестящий, полированный*
teorica:	*scienza sanza pratica*	*теория: наука без практики*

В Кодексе Тривульциано можно найти уже готовые фрагменты следующей стадии работы над словарём, а именно, группы отобранных слов, относящихся к научной тематике, расположенные уже в алфавитном порядке, обычно они помещены в правой колонне. В Мадридском Кодексе представлено начало конечного, алфавитного варианта словаря Леонардо – слова, начинающиеся с буквы а (точнее говоря, 35 слов, начинающихся с **ab**, и 12 слов, начинающихся с **ass**):

abbracciare	*abitare*	*abbagliare*
abbruciare	*abborrire*	*abbergare*
abbondare	*abbaruffare*	*abbaiare*
abbandonare	*abborracciare*	*abbuiare*
abreviare	*abbiecta*	*abarare*
abbominare	*abilitare*	*abbattere*
abituare	*abbassare*	*abburattare*

Madrid I, 3 v

Практически 70% слов из Мадридского списка происходят из Кодекса Тривульциано (там Леонардо пометил их точками, см. **Рис. 54**).

Наиболее интересной стадией работы в контексте нашего исследования научного Метода Леонардо да Винчи является всё же не профессиональный филологический анализ словаря, а также не поиск первоисточников, которые он использовал в работе, а система выбора слов, которую он разработал и столь успешно применил в работе. Какой набор слов мог бы быть достаточен для детального описания явления в природе? Несомненно, он должен был бы быть основан на присущим итальянскому языку правилам грамматики; включать слова из разных частей речи; в случае нескольких близких по смыслу слов предпочтение должно было бы отдаваться простоте слова, соответствию по звучанию привычной разговорной лексике; плюс необходим был бы аккуратный подбор специальных терминов из других языков; плюс создание новых слов для обозначения несуществующих в языке понятий; плюс, по-видимому, ещё какие-то положения. Представьте себя на месте составителя словаря. Как бы Вы организовали свою работу? По тематическому принципу? Да, конечно, так удобно. Но если Вы попробуете записать слова, близкие Вашим профессиональным интересам, то сначала дело пойдёт быстро, однако уже после нескольких десятков слов, вы иссякните, и на себе ощутите, что без разработки эффективной системы выбора слов, объём работы, выполненной Леонардо – более десяти тысяч слов(!), поставленная задача не могла бы быть выполнена. Так как же Леонардо решал проблему?

Многогнездовый подход

Язык – это сложная структура, живущая в соответствии со своими законами. По-видимому, во всякой сложной системе можно выявить характерную иерархию структур. Физика прочности металлов является основной областью научных исследований автора. Важную роль в упорядочении основополагающих представлений этой науки и в дальнейшем её развитии сыграло сформулированная в 1980-90-х годах идея об иерархии деформационных структур в металлах. Поведение кристаллических тел при приложении нагрузки может быть детально и системно описано, если рассматриваются структуры разного уровня, а именно, начиная от атомного уровня (межатомные связи, характеристики кристаллической решётки, точечные дефекты), микро-уровня (индивидуальные дислокации и двойники, комплексы дефектов), мезо-уровня (размер зерна), макро-уровня (образец, конструкция). Читатели с высшим образованием могут указать элементы иерархии структур в биологии, геологии и других областях науки. Подход на разных уровнях очень полезен при анализе сложных явлений и процессов с множеством связей.

Можно легко заметить наличие некоторого скрытого порядка в подготовительных материалах Леонардо по созданию научного словаря: колонки слов разной высоты, многочисленные скобки, нарисованные одними и теми же чернилами, пробелы, пометки перед словами и др. Внимательное рассмотрение Кодекса Тривульциано позволяет отметить некоторые важные особенности простой и действенной системы, которую он разработал при выполнении этой сложной и трудоёмкой проблемой. Анализ показал наличие характерного многогнездового принципа при подборе слов. Первым, по-видимому, был тематический подход, выбор слов, характерных для данной области науки. При этом Леонардо выписывал слова из доступных книг по выбранной

тематике на итальянском языке и латыни, добавляя сразу или позднее варианты написания, производные формы и уточняющие термины, возникающие при мысленном описании какого-либо процесса. Такие отводки заметны по последовательности слов как в речи и по наличию глаголов в неинфинитивных формах. Энциклопедический круг интересов Леонардо да Винчи благоприятствовал формированию большого числа тематических гнёзд, что позволяло в процессе работы, когда иссякал поток в одной тематике, быстро, без потери темпа, переходить на другую. Лёгкий переход мыслей от одной проблемы на другую по аналогиям или просто потому, что одновременно он занимался несколькими задачами, был вообще характерен для Леонардо, что ясно видно на страницах его манускриптов. Ниже приведены примеры гнёзд слов, отобранных Леонардо по разным характеристикам: тематические, разные грамматические формы с одним корнем, синонимы, слова с одним префиксом и другими признаками (автор – не лингвист по образованию, поэтому выявленная систематика является, несомненно, неполной).

Тематический подход

движение воды и воздуха	**геология**	**медицина**
стр.94, столбец 1:	стр.82, столбцы 4 - 5:	стр.89, столбцы 1-2:
profondita-глубина	*compresso-сжатый*	*valitudine-здоровье*
fusione-слияние	*mergere-погружаться*	*desciendere-опускаться*
revolutione-вращение	*crepito-потрескавшийся*	*cibare-питать*
rapida-быстрый	*spelonca, tana, grotta,*	*recreatione-отдых*
absurbere-поглощать	*caverna-пещера, каверна*	*gienitale-половой*
turbolentia-турбулентность	*diluviare-затоплять*	*pestifero-заразный*
perturbatione-возмущение	*transportare-смещать*	*sterilita-стерильность*
elevatione-подъём	*dislocando-смещённый*	*dimuscolare-убирать мускулы*
tonante-раскаты грома		

Конечно, размер тематических гнёзд уменьшался в процессе работы, и островки из 3-5 слов более типичны, чем группы из 15-20 слов. Леонардо работал над своей «Книгой слов» много лет и потому тематические группы слов часто встречаются среди научных записей в других манускриптах. Так, в манускрипте Ms.I содержится две подборки слов, также относящихся в описанию движения воды и воздуха, 16 слов на странице [Ms. I 24r] и 89 ключевых слов под на странице [Ms. I 71-72] под названием «О терминах» с пояснением «Начало книги о воде».

Слова с одним и тем же корнем

стр.85, столбец 5:

noto
notabile
notabilita
nototia
notatione
notabilissima

стр.67, столбцы 1 - 3:

intelletto
intelligibile
intellettuale
inteligiente

memoria
ismemorato
memorioso

Различные части речи

стр.57, столбец 1: *prossimo, aprossimare;*

стр.81, столбец 2: *extremo, stremita, stremare;*

стр.82, столбец 3: *falsita, falsario, falsare.*

Синонимы

стр.24, столбец 1: *radiante, radioso, rutilante-излучающий ;*

стр.64, столбец 2: *plescibile, molle, tenero, pastoso-мягкий, деформируемый;*

стр.68, столбец 4: *anplie, grande, magnio-большой; esile, pocho, angusto-тонкий*

стр.84, столбец 3: *valoroso, valente, valido-сильный;*

столбец 4: *cuvatici , colli-вихри.*

Омонимы

стр.84, столбец 1: *simile-disimile, simigliante-disimigliante;*

столбец 2: *fortunato-sfortunato;*

стр.67, столбец 2: *ismemorato-memorioso;*

столбец 3: *progresso-regresso.*

С тем же префиксом

стр.8, столбец 6: *prerogativa, prestrantissimo, prestrare, prevalicare, prevedere, preiuditio;*

стр.37, столбцы 4-5: *dislocata, disformita, disfare, disgiugniere, disunire, disporre, dismettere.*

С тем же окончанием

стр.9, столбцы 1-4: *illusstrissimo, singularissima, oblicatissimo, elegantissima, formosisima, onestissima* (слова, описывающие превосходную степень определения)

стр.92, столбец 2: *anplitudine, latitudine, altitudine.*

Близкие по звучанию

стр.25, столбец 3: *intimo (внутренний) - infimo (бесславный, позорный) ; igniavo (бесполезный) - igniaro (незнающий);*

стр.61, столбец 2: *volida (локон, вихрь) - valida (сильный);*

стр.82, столбец 1: *fittitia (фиктивный) - fitta (сильная боль);*

стр.90, столбец 2: *variet (разнообразие) - rariet (редкость); stupenda (замечательный) - stipendio (стипендия);*

Сложные слова

стр.67, столбец 3: *contrafare, contrapore, contramettere, contradire, contraspingere, contratirare;*

стр.85, столбец 4: *circunflessa, circuntessa, circumstrepta, circundata, circunfacta, circummergere, circummersa, circumscripta.*

Различие в написании слов

стр.22, столбец 2: *turpulentia, turbulentia.*

sperimentare (стр.8, ст.2); *issperimentare* (стр.38, ст.3); *experimentare* (стр.83, ст.1).

Различие в написании слов связано с их принадлежностью к латыни, первооснове романских языков, либо к различным диалектам итальянского языка, бывшим на слуху у Леонардо.

Словотворчество

Кроме включения в свой словарь существующих слов из латыни и разных диалектов итальянского языка Леонардо да Винчи создал много новых слов. Обычно это морфологические формы существующих слов, построенные по правилам грамматики. Примеры *florentissimo, scientia–prescientia. Florentissimo* – очень красивое, звучное и ёмкое слово. В современных итальянских словарях есть похожее слово florentism, что в переводе на русский означает как во *Флоренции*. Florentissimo–прилагательное в превосходной степени, в переводе означающее самый-самый флорентийский, это притом, что, *«вне всякого сомнения»*, Флоренция–самый лучший город и всё, что есть в ней–самое лучшее. Произнесите это слово душевно и с ударением на *i'ssimo*, и, надеюсь, Вам будет в будущем приятно выражать свои положительные эмоции по-леонардовски.

А теперь комментарий к словам о науке

«Scientia: notitia delle cose che ssono possibile, presente e preferite .

Prescientia: notitia delle cose che possin venire». Tr. 51

«Наука: знание о том, что возможно теперь или было в прошлом.

Преднаука: знание о том, что может случиться в будущем».

Взгляните ещё на следующую цепочку слов, близких по звучанию: *conchupiscienza* (стр.50, столбцы 2,5), *concupiscentia* (стр.58, ст. 3), *conchupiscientia* (стр.60, ст. 5) . Производя небольшие изменения в словах, отражающих разные оттенки жажды, Леонардо создал слово, означающее в переводе на русский язык, как *стремление заниматься наукой.* Для того чтобы лучше почувствовать отношение великого Флорентинца к его занятиям наукой, взгляните в разделе **1.8.3. Цель жизни. Volonta** на набор возникших в его голове ассоциаций, связанных со словом ***наука***, набор, сам собой выплеснувшийся во время ночных бдений на одну из страниц Кодекса Тривульциано.

Говоря о словотворчестве, ну как было не вспомнить об одном из шедевров нашего великого и могучего Русского языка, о слове **недоперепил** для описания специфического состояния любителя спиртного. Попробуйте перевести его на английский язык, строчки не хватит!

Добавление при окончательной корректировке текста

Уже после того, как этот раздел был написан, я нашёл сборник работ, посвящённых Леонардо да Винчи[74]. В статье Маринионе «Филология» [81] из этого сборника указано, в частности, что Леонардо да Винчи при работе над «Книгой слов» использовал книги *«De re militari»* Valturi и грамматику латинского языка *«Rudimenta grammatices»* Perotti. Выявлен был также ряд приёмов, применявшихся Леонардо для приспособления латинских слов для его словаря. Они включали создание существительных, глаголов, определений, наречий из существующих форм. Примеры: annotare-notitia; simigliava-simigliante; mixto-mistione; strumenti-strumentale.

Наш анализ находится в согласии с его основным выводом, что «вводя в словарь латинские слова и группируя вокруг некоторых из них связанные с ними слова, Леонардо обогащал свой словарь и делал его более пригодным для описания тонких нюансов».

В лингвистических исследованиях Леонардо да Винчи отчётливо проявился ряд важных особенностей его Научного Метода, изложенного в последующих главах книги, метода, который он разработал в основном для исследования научно-технических проблем. В числе этих особенностей: происхождение проблем из нужд практики (раздел 1.7); план (раздел 2.5); систематический подход к решению проблемы (разделы 2.3; 3.3.4); несколько последовательных уровней решения проблемы; (раздел 3.7.2); многочисленные связи между частями системы (раздел 3.4.1).

Задача-Леонардеска

38. Польский врач и филолог Людвиг Заменгоф (1859-1917) опубликовал в 1887 г. на русском языке книгу «Международный язык» под псевдонимом Др. Эсперанто («тот, кто надеется»). Попытайтесь найти описание его системы при создании языка Эсперанто. После этого Вы сможете по-новому взглянуть на существенные особенности работы Леонардо над его «Книгой слов».

Н-11. Общее ядро в научных достижениях Леонардо

Теперь, после весьма краткого обзора научных достижений Леонардо, мы можем заключить, что он сделал неплохой выбор на ярмарке среди *«объектов, которые те, кто пришёл раньше, уже видели и сочли малозначимыми»*. Следует уточнить эту живописную трактовку тематики исследований Леонардо, отметив, что среди его научных предшественников, которые *«пришли раньше и разобрали все полезные и важные темы»* были десятки знаменитых греческих, латинских, арабских и средневековых европейских учёных. Леонардо да Винчи обладал поразительной способностью находить важные проблемы, заслуживающие огромных усилий, такие, например, как построение вечного двигателя, механизм полёта тел тяжелее воздуха, выяснение законов, определяющих жизнь Земли, животных, растений.

Во второй части книги анализируется шаг за шагом эффективный научный метод Леонардо да Винчи. Но уже здесь, после краткого обзора его исследований, можно отметить наличие некоего общего «ядра», общей характерной особенности крупных научных результатов, полученных Леонардо в столь различных разделах науки. Будучи физиком – исследователем и учителем, я вижу во многих исследованиях Леонардо да Винчи один и тот же приём: *его стремление познать суть явления всегда с самого начала работы было сфокусировано на построение физической модели явления.* На эту особенность научного творчества Леонардо почему-то никто ранее не обращал внимания. Возможно, потому, что авторы большинства исследований научного наследства Леонардо да Винчи являются специалистами либо по истории науки, либо по истории искусства.

Концепция *«физической модели явления»* очень важна для последующего анализа. Поскольку не все читатели книги являются физиками, следует сразу пояснить, что вкладывается в это понятие. Слово *«физика»* здесь употребляется в своём первоначальном смысле – наука о природе. И *«физическая модель явления»* представляет собой упрощенное представление явления с чётким описанием связей между важными параметрами и ясно сформулированными гипотезами, необходимыми для объяснения явления, или, говоря другими словами, это построенное в голове исследователя представление о том, *ЧТО происходит, КАК и ПОЧЕМУ.* Естественно, модель явления совершенствуется в ходе исследования за счёт более детального рассмотрения различных вариантов процесса и более глубокого понимания причин, вызывающих соответствующие изменения.

Давайте рассмотрим на сравнительно простой и наглядной проблеме, сформулированной самим Леонардо да Винчи, различие между столь распространённым в наше время формально-формульным подходом к решению задач и построением физической модели явления.

Задача-Леонардеска

Рис.60

(2) высота 2 h --•-- m/2

(1) высота h --●-- m

(3) высота h/2 --●-- 2m

⇓ удар 1 ⇓ удар 2 ⇓ удар 3

Препятствие ----●--------- ----•------------●--------

Наблюдаемый ? ?

результат взаимодействия

39. *«Тело массой 1 фунт падает с высоты 1 браччиа (итальянская мера длины, равная около 0.6м) и производит удар некоей силы. Спрашивается: если половинная масса упадёт с двойной высоты или двойная масса упадёт с половинной высоты, будет ли получен тот же результат»?* Forster II, 130 г., **Рис. 60**

Проблема эта представляла для Леонардо не только научный интерес. Она имеет, в частности, прямое отношение к таким важным технологическим процессам как ковка и забивание свай в грунт. Несомненно, Леонардо изучал этот процесс экспериментально, но не смог прийти к однозначному и обоснованному заключению. Предложите эту проблему хорошо подготовленным старшеклассникам или студентам, и Вы, вероятно, получите несколько различных подходов, ведущих к несовпадающим заключениям.

ПОДХОД 1. Предложенные численные значения массы и высоты подталкивают к простейшему математическому решению, основанному на предположении (обычно неявному, или, во всяком случае, необоснованному), что определяющей характеристикой в процессе соударения является величина потенциальной энергии падающего груза. Эта величина одна и та же во всех трёх случаях: $mgh = (m/2)g(2h) = (2m)\,g\,(h/2)$. Отсюда следует, что и результат соударения в рассмотренных случаях будет одинаковым.

В подтверждение правильности своего подхода его сторонники приведут ряд наглядных процессов, описываемых переходом потенциальной энергии системы в кинетическую. Следует отметить, что само понятие такой физической величины как энергия в XV веке ещё не существовало. Возможно, Леонардо предполагал такой ответ, но едва ли мог бы обосновать его.

ПОДХОД 2. Предполагая, что величина скорости удара является определяющим параметром в процессе соударения, легко получить соответствующие значения скоростей $V_1=\sqrt{2gh}$, $V_2=\sqrt{4gh}$, $V_3=\sqrt{gh}$. Таким образом, $V_2 > V_1 > V_3$ и при таком подходе наиболее сильный эффект предсказывается во втором случае, при падения тела массы **m/2** с высоты **2h**.

В подтверждение правоты такого подхода его сторонники могут привести наглядный пример различия в эффекте соударения с доской лёгкой пули и тяжёлой гири, движущихся со скоростями соответственно в сотни и единицы метров в секунду.

ПОДХОД 3. Предполагая, что величина импульса **P** является определяющим параметром в процессе соударения, легко получить соответствующие величины: $P_1=m\sqrt{2gh}$, $P_2=(m/2)\sqrt{2g2h}=m\sqrt{gh}$, $P_3=2m\sqrt{2gh/2}=2m\sqrt{gh}$. Таким образом, **P3 > P1 > P2**, и наиболее сильный эффект предсказывается в третьем случае, при падении тела массы **2m** с высоты **h/2**.

В подтверждение правоты такого подхода его сторонники могут привести наглядный пример возрастания глубины отпечатка от ног на мокром песке при отталкивании с большей силой. скоростью.

Так какой же ответ правилен? А может быть при анализе явления не стоит противопоставлять один физический закон другому?

ПОДХОД 4. Построение физической модели явления. Любой реальный процесс всегда многограннее его формального описания. Конечно, легче решить и интерпретировать упрощенную математическую задачу, но, исключая априори некоторые параметры или «эффекты второго порядка», Вы рискуете получить заметные погрешности в расчётах и иногда даже качественные различия и потерю важных эффектов, особенно в случае использования полученных решений в существенно отличных условиях. Приступая к построению физической модели сложного явления, исследователь рассматривает набор всех параметров, которые могут оказать влияние на ход процесса. Анализ на начальной стадии работы проводится обычно на качественном уровне. При оценке существенности рассматриваемого параметра явления полезно проводить мысленный эксперимент, анализируя, изменится ли течение процесса, если значение данного параметра стало бы очень большим или, наоборот, очень малым (масса, размеры, трение, и др.). Лишь на основе оценки каждого из набора предварительно отобранных параметров с позиций их возможной роли в изучаемом явлении можно выделить наиболее существенные для первоочередного исследования, имея в виду позднее уточнить и углубить полученное решение с учётом дополнительных параметров и эффектов.

На основе физической модели явления, то есть при ясном понимании того, что и как происходит, строится математическая модель в виде набора уравнений, отображающих связи между различными параметрами. Позднее полученное решение может быть уточнено посредством рассмотрения дополнительных параметров и эффектов, не учитывавшихся на первом этапе решения задачи. Давайте посмотрим теперь, как физик мог бы подойти к данной проблеме.

Во-первых, **величина конечной скорости**, которая, несомненно, является одним из важнейших параметров процесса, уменьшается в действительности по сравнению с идеальной оценкой за счёт сопротивления воздуха. Этот эффект становится очень важным в случаях достаточно большой высоты или малой массы тела (известно, что парашютисты и капли дождя движутся большую часть своего пути практически с постоянной скоростью). Только в предельном случае падения тяжёлого тела с малой высоты сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Далее требуется рассмотреть, как результат соударения может зависеть от важных **параметров падающего тела** (скорость, импульс, кинетическая энергия, форма, прочность), и **объекта, по которому ударяют** (результаты взаимодействия падающего тела с сухим песком, мокрым песком, пластилином, стальной пластиной, оконным стеклом, пенопластом могут отличаться).

Следующая стадия работы – теоретический анализ или компьютерное моделирование каких-либо частных задач, либо детальное экспериментальное исследование различных вариантов.

Рассмотрим четыре интересных предельных случая:

а) Падающие тела - резиновые или прочные стальные шары; препятствие – прочная стальная пластина; умеренные высоты. Основной эффект - практически упругий удар. Результат – шары после соударения с пластиной подпрыгивают почти до начальной высоты. Особый интерес представляют теоретическая оценка и экспериментальное исследование рассеяние энергии за счёт упругих волн, возникающих в пластине и в шаре.

б) Падающие тела – деформируемые шары из пластилина, свинца, алюминия; падение с достаточно большой высоты; препятствие – прочная стальная пластина. Основной эффект - неупругий удар. По-

видимому, в случае пластилиновых и свинцовых шаров большая часть кинетической энергии шара будет поглощена при первом ударе; в случае алюминиевых шаров относительная доля потери энергии будет, видимо, больше для шаров меньшего диаметра и при большей скорости соударения вследствие более интенсивной пластической деформации.

в) Забивание гвоздей (по сути, этот процесс аналогичен процессу забивания свай в грунт). Удар молотка должен обеспечить возникновение силы, превышающей силу сопротивления внедрению гвоздя в дерево. Величина силы при ударе определяется изменением импульса $F=\Delta(mV)/\Delta t$ тела, падающего с заданной высоты. Величины начальной энергии падающего тела и работы силы сопротивления определяют в первом приближении глубину проникновения гвоздя в дерево. Зависимость силы взаимодействия гвоздя с деревом от времени заслуживает специального исследования.

г) При достаточно больших скоростях соударения, в десятки-сотни метров в секунду, характерной особенностью процесса становится формирование ударных волн. При плоском соударении пластин соотношения между давлением в волне **P**, плотностью вещества $\rho = 1/V$ (где **V** –удельный объём), скоростью распространения ударной волны **D** и массовой скоростью вещества за фронтом в направлении распространения волны **U** определяются законами сохранения

массы $\rho_0 D = \rho (D - U)$,

импульса $P - P_0 = \rho_0 D U$

и энергии $E - E_0 = ½ (P - P_0)(V_0 - V)$,

(ρ_0, V_0, P_0 и E_0 относятся к несжатому состоянию перед фронтом волны).

Соотношения эти были получены ещё в конце XIX века Гюгонио́. Выписаны они здесь для того, чтобы показать, что, по крайней мере, в этом частном случае процесса соударения не какое-то одно уравнение определяет результат соударения, а три фундаментальных закона сохранения, и что одним из определяющих параметров в данном случае является плотность, а не масса, как предполагалось при постановке проблемы.

Задачи-Леонардески

40. Верёвка кладётся на гладкий стол перпендикулярно краю. При некоторой длине свисающей части верёвка начинает соскальзывать. Какую форму имеет она на последовательных стадиях процесса? Как будет распределена масса верёвки на полу?

41. Просмотрите внимательно на представленные в предыдущих разделах материалы о научных достижениях Леонардо да Винчи, выделяя особенности построенных им моделей процессов, то есть представлений о том ЧТО, КАК и ПОЧЕМУ происходит. К числу наиболее наглядных разработок Леонардо могут быть отнесены его представления о происхождении раковин на горах и об атеросклерозе как причине старения, о механизме зрения и механической модели человеческого организма, о полёте и природе небесных тел. Если область Ваших интересов близка к какой-либо из работ Леонардо, посмотрите, насколько изменилась модель процесса, в каком направлении стоило бы уточнять, развивать её далее.

Замечание о некоторых критических оценках научных работ Леонардо

Важной составной частью обсуждаемого метода исследования является стремление объять явление во всей его полноте, установить присущие ему связи и эффекты. Именно поэтому Леонардо да Винчи в записных книжках так часто переходит от детального обсуждения какого-то одного эффекта к записям мыслей, наблюдений, относящимися к другим, зачастую кажущимся малозначительным эффектам. Особенно часто такие записи касаются проблем, которым Леонардо придавал большое значение – полёт, движение воды, оптика, технические вопросы, над которыми он работал многие годы. И это вполне естественно при исследовании сложного явления, про важные детали и причины которого практически ничего не известно, особенно на начальном этапе работы.

Некоторые авторы публикаций, в которых обсуждались научные исследования Леонардо да Винчи, не понимая этой особенности его метода, и встречая в записных книжках столь частые переходы от одного вопроса к другому, порицали его за незавершённость исследований, «недостаточно абстрактное мышление», пристальное внимание к малозначащим деталям. Фактически при таком подходе они, вольно или невольно, подходили к Леонардо, работавшему 500 лет назад, с мерками, привычные для современной науки. Вот лишь несколько примеров оценок такого рода:

«Наука – это не яркие идеи, кратко записанные в записных книжках. Наука – это систематические и методические размышления. Леонардо не имел интереса к разработке какого-либо систематического раздела знаний» [91];

«Его знаменитое описание Потопа богато великолепными деталями, но не имеет центрального ядра и не полно» [79];

«Фрагментарное состояние его литературного наследия является не чем-то случайным, а необходимым следствием самого характера его научной деятельности… нагромождение разного рода подробностей, в котором неважное заглушает существенное и максимум эмпирии сочетается с минимумом теории… Мысль Леонардо, правильно наблюдающая и охватывающая в мире явлений столь многое и разнообразное, не способна к обобщению, к синтезу и вообще к абстрактному мышлению» [16].

Имеются и не столь резкие объяснения причин неполноты и незавершённости исследований Леонардо. Так, Дж. Сартон указывал, что «люди науки готовы бесконечно заниматься своими исследованиями, но часто испытывают трудности при написании отчётов и иногда откладывают такую работу на необозримое время… гений Леонардо был такого рода, и он никогда не был доволен сделанным» [99]. Л. Баткин опубликовал специальное весьма объёмное исследование для подробного обоснования тезиса, что *"varieta"* - стремление к разнообразию - была характерной чертой Ренессансного мышления [3].

До-Ньютоновская наука редко доходила до «точных» формул, и было бы неверно ожидать от Леонардо того, что было не в его силах. Нельзя не согласиться с высокой оценкой трудности и огромного значения первичных открытий, сделанных нашими далёкими и недостаточно, по современным меркам, образованными предшественниками [Гольдштейн [57]]: «Неужели кто-нибудь скажет, что попытка взяться за решение проблемы без достаточной информации и хорошо развитых методов требует меньшей интеллектуальной энергии и изобретательности, чем необходимо для продвижения от задачи к задаче в рамках надёжно установленных отраслей знаний?». По отношению к Леонардо да Винчи такая оценка была бы более корректной, чем цитированная выше мало обоснованная жёсткая критика. Более того, Леонардо не только просто «брался за решение» проблем, но глубоко проникал в суть многих важных явлений.

Вниманию преподавателей и учёных

Не следует думать, что способность понимания явления на качественном, модельном уровне становится менее важной по мере развития математического аппарата и вычислительной техники. Она особенно важна для исследователей, работающих в новых областях знания и для инженеров и учёных – физиков, биологов, экономистов, которым часто приходится искать оптимальные решения нестандартных комплексных задач. Не всегда способность к построению качественных моделей коррелирует с математическими способностями. И это вполне естественно, так как базируются они в разных разделах мозга: построение качественной модели – в основном на правой, образной, половине коры больших полушарий, математические способности - в основном на левой, логической половине.

С должным вниманием и, желательно, с выводами для практики преподавания научных дисциплин, следует отнестись к размышлениям по проблемам лидерства, образования и организации науки Джорджа Дюваля, выдающегося американского специалиста по физике взрыва, принимавшего участие в 1940-е годы в реализации Манхэттенского проекта. В презентации на тему «Три слепых и слон» [45] на конференции по ударным

волнам Дж. Дюваль особо отметил: «Меня сильно беспокоит, до какой степени математический формализм внедрился в курсы физики за время моей научной карьеры. В последние годы эта тенденция стала настолько опасной, что будущие физики могут лишиться проницательности и инструментов мышления, которые мы с коллегами находили очень ценными и которые не могут быть заменены математикой» [45]. Одним из эффективных инструментов мышления, способствующих развитию проницательности, является решение оценочных задач. Дж. Дюваль вспоминал, что это было любимым занятием Энрико Ферми и Лео Сциларда в редко выпадавшее свободное время. В настоящее время они стали обычными на Физических Олимпиадах и на занятиях в специализированных классах и школах.

Задачи-Леонардески

42. Оценить число бензозаправочных станций в области, где Вы живёте, используя здравый смысл и статистические справочники. Это задача из тех, решением которых развлекались Э. Ферми и Л. Сцилард, только формулировалось она несколько шире: оценить число заправочных станций в США.

43. Оцените число волос на голове.

44. Оцените, скорость ветра, при которой может опрокинуться автобус.

45. Оцените максимальную высоту башни, которую можно построить из современных материалов на строительной площадке 100 x100 м.

Н-12. Леонардо и некоторые проблемы образования

Прохождение через школы поощряет воспринимающее, но заглушает самобытно мыслящее начало в человеке.

Л.Н.Толстой

Леонардо да Винчи был во многих областях науки самоучкой, он не учился в Университете, но смог получить десятки фундаментальных результатов на основе собственных наблюдений и благодаря эффективному методу мышления. Поэтому знание научного метода Леонардо предоставляет возможность пересмотреть и скорректировать систему ценностей и методик современного образования. Системы образования во многих странах ориентированы фактически на предоставление всем учащимся некоего общего, весьма невысокого уровня образования. Обосновывается это обычно как реализация демократически выглядящего лозунга «общество равных возможностей», который повторяется повсеместно в Америке и на который ориентируются в последнее время и другие страны. Но каждый мозг уникален, и применение такого принципа в образовании в виде «всем одинаково» едва ли можно считать справедливым и разумным как с позиций отдельного человека, так и общества в целом. Мало известное замечание Л.Н Толстого по этому поводу, вынесенное в эпиграф раздела, цитируется по книге «Яснополянские Записки Д.П.Маковицкого, кн.4, 16 декабря 1910 г. Ниже обсуждаются некоторые принципиальные аспекты дифференциального образования, которые последовательно и успешно развивались в нашей стране с начала 1960-х.

Н-12.1. Кто такой гений?

Кого можно считать гением? Можно ли понять, как мыслит гений? Как развивать способности одарённых детей? Эти вопросы пытались решать многие поколения учёных и педагогов. Имеются сотни интересных теоретических исследований, разработаны десятки полезных методик. Говоря о Леонардо да Винчи, который признан выдающимся гением за всю историю человечества, и имея в виду исследование его метода мышления, нам следует согласовать представления по ключевым вопросам.

Определение понятия «гений». Словарь Вебстера предлагает считать гением человека, который 1) имеет исключительную врождённую мощь разума, проявляющуюся в творческой и оригинальной работе в

науке, живописи, музыке и т.д.: *гений Моцарта*; или 2) показывает предельно высокий показатель в психологических тестах, типа *IQ выше 140*; или 3) оказывает сильное влияние, хорошее или плохое, на характер, поведение или судьбу общества, места, или дела: особенно, *гений - лидер*. Таким образом, здесь выделяется, по крайней мере, три типа гениев, что автоматически предполагает возможность существенных различий в структуре их мышления, в характере, и др.

Рис.61

Роль образования. Статистические данные дают интересную зависимость ранга гения от формального образования [102], **Рис. 61**. В работе был детально проанализировано большое число общепризнанных гениев: 109 лидеров и 192 творца. Из представленных статистических зависимостей следует несколько важных выводов.

Во-первых, самые выдающиеся лидеры и творческие гении имеют различное умственное развитие, что вообще-то можно было бы предполагать априори, но максимум для лидеров высшего ранга, способных увлечь, повести за собой массы, на низком уровне формального образования является всё же неожиданным.

Во-вторых, и это особенно важно для нас, учителей, избыток образования не способствует развитию и проявлению творческого дара. Объяснение довольно простое. В науке избыток образования, то есть уровень кандидата, доктора наук, связан, как правило, с узкой специализацией, с сильным погружением в выбранную область исследований, что сопровождается обычно сужением сферы интересов. А крупные научные открытия делаются как правило на стыках наук с использованием новых идей и новых методов.

В-третьих, спадающая ветвь кривой для творцов отражает лишь влияние формального образования, что не исключает, а, наоборот, требует интенсивного самообразования для творческой деятельности. Последнее замечание согласуется с данными из той же статьи о наиболее плодотворном возрасте для экстраординарных открытий. Он зависит, естественно, от типа деятельности (больше, например, для химии, где необходим длительный период накопления опыта), но наиболее продуктивный возраст приходится, в общем, на возраст от 25 до 50 лет с максимумом около 40 лет. Следует подчеркнуть, что статистические данные не исключают отклонений в обе стороны.

Н-12.2. Физиология мышления

Память, интуиция и другие характеристики мышления имеют биологическую природу, присущи каждому человеку; гены и практика определяют уровень их развития. В 1970-е годы произошёл прорыв в изучении химико-биологических процессов, которые лежат в основе мыслительной деятельности. Современные физические и химические методы исследования позволяют изучать такие деликатные особенности механизмов формирования связей и распространения сигналов в мозгу как изменение электрического потенциала вдоль цепочки *нейрон – аксон – синапс – аксон*; рост дендритов в возбуждённых областях, увеличение в возбуждённом состоянии по сравнению с покоем проницаемости мембраны синапса для ионов натрия, но не для ионов калия; процессы как миллисекундной длительности, так и долговременные изменения. Если Вы не занимаетесь этими проблемами профессионально, полагаю, Вам будет интересно и полезно прочитать такие популярные книги как [98, 97, 29, 51] и последние публикации в общенаучных журналах. В изложении некоторых разделов и рекомендациях мы будем полагать, что читатель имеет хотя бы общее представление о следующих структурах и функциях мозга:

Нейронные сети. Временные окна для включения различных механизмов. В человеческом мозгу имеется около 100 миллиардов нейронов - нервных клеток. Каждый нейрон может образовать связи с другими нейронами с помощью аксонов – особых отростков, «проводников». Фактически человек использует лишь мизерную часть ёмкости своего мозга. Эффективность этого уникального инструмента зависит во многом от

квалификации «настройщиков» - родителей и учителей, которые могут либо создать из данного материала шедевр, либо оставить его в сыром, неактивированном состоянии. Более того, неиспользуемые нейроны со временем отмирают, так что настройку нужно проводить вовремя. Существуют довольно узкие временные окна для формирования определённых сетей в мозгу. Так, например, когда в исследованиях, описанных в 25, веки одного глаза новорожденного котёнка были сшиты и открыты лишь через несколько месяцев, животное осталось навсегда слепым на один глаз. Основные структуры человеческого мозга формируются в раннем детстве (см.[26, 60]). Так, в частности, формирование двигательных центров происходит, начиная с предродового периода и до 5 лет; зрение: 0 – 2 года; речь: 0 – 10 лет; математика и логика (внимание!): с 1 года до 4-х лет! Перестроить мозг позднее можно, но это много сложнее, чем реконструировать здание. Поэтому раннее всестороннее развитие ребёнка столь важно. Редьярд Киплинг написал прекрасную историю о Маугли, человеческом детёныше, выросшем в джунглях, но в реальных случаях, когда дети с раннего детства воспитывались животными, они никогда не могли достичь интеллектуального уровня, сравнимого с обычными людьми.

Распределение функций в коре больших полушарий головного мозга. Человек как биологический вид смог в ходе эволюции выделиться из животного царства благодаря развитию способности взаимодействия до беспрецедентно высокого уровня. Природа для этого была вынуждена реконструировать значительную часть его мозга, в основном в Левом полушарии коры, для генерирования и восприятия речи. Характер построения речи, слово – за словом, фраза – за фразой, определил последовательный характер развития мыслительной деятельности, реализуемой в Левом полушарии. Это снижает на много порядков величины потенциальные возможности обработки информации в нашем «персональном компьютере». Правое полушарие обрабатывает в основном несловесную информацию, получаемую посредством органов зрения и слуха. Оно организует отдельно воспринимаемые образы в единую картину. Обработка информации в Правом полушарии происходит одновременно по множеству параллельных каналов с очень высокой скоростью. В зависимости от типа мыслительной деятельности, Левосторонняя – логическая либо Правосторонняя – образная часть коры больших полушарий в большей степени вовлекается в процесс:

Язык – обе половины (Логическая часть: определения, дискуссия; Правая часть: ассоциации, чувства, воображение, интонация). Альберт Эйнштейн отмечал: «По-видимому, слова или язык не играют заметной роли в механизме моего мышления. Психические построения, которые служат элементами мышления, представляют собой некоторые знаки и более или менее чёткие образы» .

Математика - главным образом Левая сторона для алгебры и вычислений, главным образом Правая сторона для геометрии.

Музыка – вид искусства, который в большей степени, чем живопись или литература, стимулирует одновременную согласованную работу Левой и Правой половин коры больший полушарий мозга (Левая ответственна за запоминание нот, слов в песне; Правая – за запоминание мелодии, чувства). Учителя давно заметили, что математические и грамматические правила, факты лучше усваиваются на фоне спокойной ритмической музыки.

Задача организация и развития методов одновременной согласованной работы образной и логической частей мозга (иногда такое функционирование мозга называют «сверхсознанием») является жизненной важной для системы образования XXI века.

Н-12.3. Дифференцированное обучение

Хорошая школа сильна тем, что даёт не знания – как это ни удивительно! – она учит думать.

Б.В.Раушенбах

Не существует двух людей, которые мыслили бы совершенно одинаково. Мозг каждого ученика уникален, и требуются специальные подходы если не для каждого ученика, то, по крайней мере, для некоторого набора групп, обладающих характерными типами категорий физиологических структур мозга и соответ-

ствующих им склонностей, сильных и слабых сторон. Так, замедленное решение стандартных многоступенчатых математических задач отнюдь не означает отсутствие способностей к занятиям серьёзной математической наукой и, тем более, не исключает наличия экстраординарных способностей в какой-либо другой области. Поэтому, организация на деле, не на словах, дифференцированного обучения для наилучшего развития уникальных способностей столь сильно различающихся личностей является проблемой огромнейшего значения.

Принцип подхода к решению этой проблемы хорошо и давно известен – раннее определение и активное развитие способностей. Раннее развитие способностей к балету, музыке, живописи, спорту широко практикуется повсеместно в специальных школах, обычно с 5-6 лет. Несомненно, развитие мозга должно заслуживать, по крайней мере, не меньшего внимания, чем развитие ног. Согласно исследованиям педагогов, 4-5% школьников, независимо от их национальности, пола, образования родителей, имеют повышенные способности к решению нестандартных задач. К сожалению, ориентация школы на некоторый искусственно заниженный «средний уровень», не способствует развитию их способностей.

В начале 1960-х при перестройке системы образования в России и в США были заложены разные приоритетные цели. В России был организован поиск способных учащихся через Олимпиады по физике, математике, химии, биологии, информатике, языкам. Первая Олимпиада по физике и математике была проведена Сибирским Отделением Академии Наук по инициативе и при активном участии академика М.А.Лаврентьева. Затем Олимпиады стали Всесоюзными и Международными. Олимпиада стала тем самым звеном в цепочке, потянув за которое удалось быстро, в течение 2-3 лет разбудить/возбудить у многих школьников «врождённое стремление добывать знание собственными усилиями», у учителей – стремление работать по-новому. Для дальнейшего развития способных школьников в России и других республиках была организована система специализированных Физико-Математических Школ, классов с углубленным изучением некоторых предметов, факультативов, издание журнала «Квант» и пособий для самостоятельной работы.

Наиболее важной и весьма нелёгкой для реализации задачей является изменение метода обучения. Обычно учитель рассказывает новый материал, который учащиеся должны запомнить, после этого решается набор простейших задач. Грубо говоря, знания при этом «впихиваются» в головы обучаемых. В лучшем случае такая система может дать лишь знание некоторого объёма фактического материала и привить простейшие навыки чтения, счёта и письма. Признаком отсутствия мотивации и падения интереса к учёбе в такой системе является исчезновение уже в первых классах *почемучечных* вопросов, столь естественных в раннем возрасте.

Процесс обучения – это больше, чем простое накопление фактов. Альтернативная система методов обучения направлена на активацию интереса, на развитие внутренних творческих способностей. Суть такой работы чётко выражена в формуле *«Знание добывается, не предписывается»* (из системы приоритетов Иллинойской Академии Математики и Науки, Американского аналога Новосибирской ФМШ). Наиболее важной проблемой для учителя, работающего с ориентацией на эффективное развитие способностей учащихся, является аккуратный выбор базовых, фундаментальных положений курса, которые должны быть добыты вместе с учащимися. Работа проводится главным образом через эксперименты и решение нетривиальных задач, обсуждение реальных проблем, активную поддержку их активности в областях, которые могут оказаться малознакомыми и для самого учителя. Наслаждение и польза даже от небольшого открытия, сделанного самим учащимся, стоит много больше, чем запоминание страниц учебника и решения десятков тривиальных задач. Польза и необходимость активных методов в обучении хорошо подчёркнута в старой китайской поговорке: *«Я услышал и забыл. Я увидел и помню. Я делаю и понимаю»*.

В США с начала 60-х главный упор в перестройке образования был сделан на компьютерной обработке тестирования всех учащихся, начиная с младших классов. Результаты тестирования были положены в основу оценки работы школ с соответствующими административными и финансовыми мерами. Невысокие результаты тестирования во многих регионах США трактовались как свидетельство завышенных требований (при этом проговаривались квази-демократические слова об «обществе равных возможностей»), что привело к постепенному, год за годом снижению уровня тестов, к проверке лишь знания фактического материала и

к падению качества преподавания естественных наук. В настоящее время на всю страну имеется лишь около 40 школ, объединённых в Консорциум Специализированных Школ с углубленным изучением математики, естественных наук и техники.

К сожалению, в то время как в самой Америке, начиная с 2000 г., принимаются меры по отказу от тестирования как основной оценки работы школы, в России по инициативе сверху введён Единый Государственный Экзамен вместо всемерной поддержки и развития успешно показавшей себя системы дифференцированного обучения. М.А.Лаврентьев в самом начале реформы 1960-х предупреждал: «Если снизится уровень физико-математической подготовки в школе, то вместе с ним упадёт и интерес школьников к этим наукам, сократится приток в них способной молодёжи, а это может подорвать всю систему воспроизводства необходимых стране кадров».

Следует отметить, что в начале 60-х в Америке практически одновременно с М.А.Лаврентьевым и примерно в том же направлении выступил с глубоко обоснованными предложениями по коренной перестройке школьного образования адмирал Х. Риковер, отец подводных ракетоносных атомоходов. Риковер ездил в СССР и в Англию специально для изучения постановки образования. Его предложения по перестройке Американской системы образования обсуждались на сессиях Палаты Представителей, были одобрены и опубликованы в книгах “Education and Freedom”, 1959 и “American Education. A National Failure”[96], 1963. В своё время эти книги не были переведены в нашей стране из политических соображений и едва ли будут опубликованы в обозримом будущем, поскольку выводы Риковера о причинах неудач Американской системы образования напрямую соотносятся с нововведениями Министерства образования РФ, разрушающими то, что было достигнуто в 1960-90-е годы. «Умные учатся на чужих ошибках; глупые – на своих» (английская поговорка).

НАУЧНЫЙ МЕТОД ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ

Метод важнее открытия, ибо правильный метод исследования приведёт к новым, ещё более ценным открытиям.

Л.Д.Ландау

Для того чтобы получить десятки результатов, которые опередили развитие науки на столетия, в столь широком спектре областей Леонардо да Винчи должен был разработать очень эффективный алгоритм, некий общий метод подхода к решению сложных проблем. В сохранившихся рукописях отсутствует систематизированное описание метода, и, возможно, Леонардо даже и не имел такого намерения. Однако анализ его сохранившихся манускриптов позволяет восстановить многие важные особенности его уникального интеллекта.

Прежде чем приступить к изложению реконструированного автором в результате более чем тридцатилетних исследований научного метода Леонардо да Винчи, следует ответить на вопрос: возможно ли в принципе понять особенности процесса мышления гениального человека? Людвиг Хайденрайх, автор ряда фундаментальных исследований по живописи, архитектуре и изобретениям Леонардо да Винчи, как-то заметил: «Любая попытка понимания мыслительной и творческой работы человека уровня Леонардо всегда останется просто попыткой». Не могу согласиться с ясно просматриваемым подтекстом этого заявления: а тогда может и не стоит пытаться? Мне как физику, исследователю и учителю, гораздо ближе позиция Поля Валери: метод Леонардо можно и нужно понять! Стремление донести до современного читателя информацию об особенностях интеллекта гениального флорентинца в наиболее доступном и удобном для практического применения виде, несомненно, оправдано.

Предлагаемая в этой книге схема разработана на основе целенаправленного скрупулёзного анализа манускриптов Леонардо, а не только весьма полезных (но фактически препарированных) сборников выдержек из Записных Книжек, систематизированных Ж.П.Рихтером и Э. МакКёрди. Большинство положений схемы подтверждается собственными высказываниями, а зачастую и прямыми рекомендациями Леонардо.

Как говорится в английской пословице, *"The proof of the pudding is in the eating"*- «Качество пирога определяется при еде», и автор надеется, что читатели найдут много интересного и полезного в предлагаемых материалах.

I. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМ

Дело не в том, что они не могут найти решение. Они просто не видят проблему.

Гилберт Честертон

«Знание добывается, не предписывается». К сожалению, этот принцип реализуется в очень ограниченном числе школ. Современная школа ориентирована главным образом на обучение по книгам. Получение готовой информации из книг, телевидения или Интернета полезно для формирования некоторого базиса знаний. Но, будучи ограниченным лишь чисто информационными источниками, учащийся не приучает свой мозг к способности создавать новое знание. Ориентация составителей учебников на включение в них всё более нарастающего объёма информации усиливает эту опасную тенденцию. Подсчёт числа научных публикаций за год во второй половине XX века показал, что общий объём знаний удваивается примерно за 7 лет. То есть, в течение 50 лет, за время активной жизни одного поколения, объём знаний увеличивается в 2^7=128 раз! *Впихивание* в головы учащихся огромного объёма информации делает выпускников современной школы менее любознательными, менее открытыми для активного восприятия новых идей, менее творческими по сравнению с предшественниками, не испорченными таким объёмом формальных знаний. Исаак Азимов в научно-фантастической повести «Профессия» 24 нарисовал довольно мрачную картину системы образования в далёком будущем (действие в повести разыгрывается в 6492 году). Если главным в образовании останется усвоение требуемого для нормальной жизни высокотехнологического общества объёма знаний, школа и учитель вообще станут ненужными, наука освоит методы изучения индивидуальных склонностей молодого человека по особенностям структуры его мозга, и необходимый для успешной работы по конкретной специальности объём знаний и навыков будет напрямую записываться в мозгу. Повесть была написана в 1963 г. на заре использования компьютеров в обучении, и знаменитый фантаст, как оказалось, сильно недооценил темпы внедрения компьютерных технологий в обучение. Уже теперь компьютерные программы и Интернет сводят до минимума роль учителя в школе как источника информации.

Способность находить объект и задачу для изучения является важнейшей особенностью творческого ума. Мы начнём наш анализ научного метода Леонардо да Винчи с выяснения вопроса, как он искал и столь удачно находил проблемы, которые стоят того, чтобы их решать, затрачивать на это иногда годы интенсивного труда. Полушутя-полусерьёзно Леонардо так описывает область своих интересов:

«Видя, что я не могу найти объект большой пользы или удовольствия, поскольку те, кто пришёл раньше, уже разобрали все полезные и важные темы, я поступлю как бедняк, пришедший на ярмарку последним и, не будучи в состоянии обеспечить себя, берёт то, что другие уже видели и сочли малозначимым; я загружу свою скромную суму вещами, отвергнутыми теми покупателями, и пойду раздавать их, конечно, не в большие города, а в бедные деревушки, где эти вещи представляют ценность». C.A. 119 v

И он нашёл нетронутыми такие темы как природа небесных тел, происхождение голубого цвета неба, движение воды, механизм полёта птиц, происхождение окаменелых раковин на вершинах гор, и многие другие фундаментальные процессы в природе и в технике.

1.1. Проблемы, обсуждавшиеся предшественниками. Творческое чтение

В записных книжках да Винчи отражён активный поиск контактов со специалистами (зачастую вне круга его близких знакомых), которые могли ответить на интересующие его вопросы. Полученные сведения были важным начальным этапом многих его последующих работ. Ниже приведён типичный меморандум от начала 1489 года, в Миланский период жизни Леонардо:

«Попроси учителя абака показать тебе как следует находить квадратуру треугольника.... Попроси мессера Фацио показать книгу о пропорциях... Спроси Джаннино Бомбардьери как была построена башня в Ферраре без амбразур... Спроси Бенедетто Портинари каким образом бегают по льду во Фландрии... Измерение Солнца, обещанное мне маэстро Джованни Французом... Самострел маэстро Джанетто... Найди мастера по водным сооружениям и попроси его рассказать о ремонте шлюза и его стоимости, о канале, о мельнице на ломбардский манер. Паолино Скарпеллино, по прозванию Ассиоло, много знает о водных сооружениях». C.A. 225 r.b.

И ещё три интересные записи:

«[Америго] Веспуччо хочет дать мне книгу по геометрии». Arundel 132

«Научись умножению корней у маэстро Луки». C.A.120.

«Магистр Джулиано да Марлиано имеет прекрасный гербарий; живёт против плотников Страми». Forster III 38 v.

Было бы неверно игнорировать или противопоставлять чтение книг другим способам получения знания. Леонардо, называвший себя *l'uomo sensa lettere* - человеком без образования, был на самом деле страстным читателем. Один лишь список книг из его собрания, оставленных Леонардо во Флоренции при переезде в 1482 году в Милан, состоит из 116 наименований (естественно, самые нужные книги он взял с собой) [93]. Кроме того, в записных книжках упоминается, что он брал книги у своих друзей (Америго Веспуччи, Луки Пачоли, Фацио Кардано), у знакомых (*«Борджес достанет для тебя Архимеда у епископа Падуанского, а Вителоццо – из Борго»* Ms. L 2; *«У мессера Винченцо Алипландо, проживающего близ гостиницы Корсо, есть Витрувий Джакомо Андреа»*. Ms. K 109 v, изучал книги в библиотеках Флоренции, Милана, Павии.

В литературе, посвящённой научным работам Леонардо, можно найти подробные комментарии о книгах Античных и Средневековых авторов (Пифагор, Аристотель, Витрувий, Альберти, Брунеллески и др.), которые цитируются или упоминаются в записях Леонардо (см. комментарии Ж.П.Рихтера к Записным Книжкам Леонардо да Винчи [Vol. II, p. 442-454], [87, 69, 9, 93]. В ряде случаев цитаты, довольно редкие в записях Леонардо, и сравнительные исследования текстов позволяют достоверно указать первоисточники некоторых проблем в работах предшественников. Таковы, например, вопросы о форме и размере Земли, её месте во Вселенной (интересовали людей со времён Адама, обсуждались Эратосфеном, Аристотелем, Тосканелли), откуда берётся вода на вершинах гор (Аристотель, Сенека), проблемы, прямо связанные с работой художника (механизм видения, перспектива, свет и тень - ближайший и наиболее близкий по идеям и методам исследований предшественник - Альберти), анатомия (Аристотель, Гиппократ, Гален, анатомический трактат Мондино – 1316 г., Полайоло), различные механизмы (ближайшие предшественники: Франческо ди Джорджио, Таккола, Брунеллески). Обычно да Винчи использовал работы предшественников в качестве отправной точки для своих собственных наблюдений, экспериментов, анализа. Иногда, вследствие недостатка данных и неточности экспериментальных методик, он не мог преодолеть ошибки предшественников (см. главу V. Ошибки Леонардо).

Распространённой формой античных и средневековых трактатов был *диалог*, и Леонардо часто применял этот приём в своих работах. Использование аргументов *за и против* активизирует критическое мышление, повышает обоснованность предлагаемых решений.

Вопрос о способах раннего развития мыслительных способностей заслуживает в контексте данной работы особого внимания, углубления и конкретизации. Каждый человек видит, воспринимает мир по-своему. Ребёнок начинает *творить* в голове свою, уникальную картину мира на основе собственных наблюдений и сведений, получаемых от взрослых. После поступления в школу основным источником знаний становится чтение, и надо сделать так, чтобы оно было, по возможности, *творческим*. Создаваемая в голове человека уникальная картина мира, многообразие отображаемых в ней процессов, деталей и связей представляет фактически *базу данных* (простите за несколько суховатый термин, но для многих читателей он весьма полезен), которая определяет глубину формируемых в мозге базовых концепций и оригинальность мышления, наиболее важных критериев уровня интеллекта.

В наше время учёному редко удаётся найти нетронутое поле для исследований. Поэтому изучение работ предшественников становится всё более важным. При обилии имеющейся литературы, относящейся к изучаемой проблеме, существует реальная опасность утонуть в ворохе таблиц, графиков, формул, и, что особенно опасно, слепо следовать авторитетам. Перечитывая этот раздел, я вспомнил, что где-то уже встречал подобное предупреждение. Да, действительно, было! Ведь это очень созвучно с Первым (из четырёх) Правил поиска научной истины, сформулированным Рене Декартом [41] ещё в 1637 году:

«Во-первых, *никогда не принимать ничего за истину, чего я сам не знаю с полной достоверностью*, то есть, внимательно избегать поспешных суждений и предубеждений; и не включать ничего более в мои собственные суждения кроме как представленного в моём разуме с такой ясностью и отчётливостью, что я не буду иметь случая поставить их под сомнение». [

В завершение раздела хочу поделиться с молодыми исследователями полезной методикой изучения литературы из собственного опыта. В начале моей научной карьеры я приступил к составлению личной картотеки на стандартных библиотечных карточках с коротким описанием статей, относящихся к физике прочности. Позднее разработал систему, значительно более эффективную для систематизации и детального критического анализа статей в выбранной области исследований. В школьной тетрадке в клеточку на развёрнутых сдвоенных страницах реферируемые статьи обрабатываются по следующей форме: Публикация/ Эксперимент/ Результаты/ Компьютерный эксперимент/ Выводы. Замечания.

Этот методика обладает несколькими существенными преимуществами по сравнению с картотекой, не говоря уже о простом наборе копий статей. Во-первых, Вы можете с первого взгляда видеть весь материал (обычно я подчёркиваю наиболее важные выводы, замечания, идеи красным карандашом). Во-вторых, он сводит до минимума время на проведение сравнительного анализа разных работ, поскольку в конспекте отмечаются лишь существенные отличия установок, методик, теоретических оценок от того, что уже было законспектировано ранее. И, в-третьих, работа в таком стиле благоприятствует развитию остроты ощущения наиболее существенных сторон проблемы и учит на чужих достижениях и ошибках.

С появлением *Интернета* появилась возможность быстро найти интересующую информацию практически по любому вопросу. Это *чисто техническое средство* облегчает, но никоим образом не заменяет работу мысли вдумчивого исследователя по упорядочению информации и *критической её переработке, выделению главного, формулировки вопросов, постановки своих задач*. Образно говоря, некий важный набор чётко сформулированных мыслей, положенный на «нужную полочку» в памяти, делает их немедленно доступными для использования в работе. Следует также заметить, что «переваренная», записанная своей рукой мысль стоит много больше, чем просто прочитанная.

1.2. Наблюдение

Научные интересы Леонардо да Винчи были связаны не с «благородными науками» того времени (теология, философия, изучение и обсуждение работ античных авторов), а с изучением таких обыденных явлений и процессов как движение тел в воде и в воздухе, строение и функционирование человеческого тела, кон-

струирование механизмов. Основными методами первой группы наук были чтение манускриптов и дискуссии, основными методами исследования явлений в природе – наблюдения и эксперименты. Леонардо говорит:

«Для объяснения моих работ опыт нужен более, чем слова других. И поскольку опыт является повелителем всех, кто знает то, о чём хорошо пишет, я буду обращаться по всем вопросам к нему как к своему господину». C.A. 119 v-a.

Для Леонардо да Винчи *первичное наблюдение* на свежий взгляд является первоосновой, зародышем, в котором уже заключены *все* структуры и функции объекта, хотя, может быть, и в нечётко видимых формах. Исключительная важность первичного наблюдения состоит в том, что в процессе последующего изучения всеобъемлющая полнота картины с неизбежностью теряется. Поэтому Леонардо да Винчи призывал последователей всегда носить с собой небольшую записную книжку, записывать в неё наблюдения, непосредственные соображения по поводу наблюдаемого и бережно хранить эти материалы:

«Если ты уже хорошо обучен, ты должен постоянно, куда бы ни шёл, наблюдать, замечать и фиксировать положения и поведение людей, когда они разговаривают, ссорятся или смеются. Фиксируй всё это быстрыми заметками в небольшой записной книжке, которую ты должен всегда носить с собой... эти записи надо заботливо сохранять, потому что богатство форм и отношений безгранично, и память не может всё это хранить. Поэтому сохраняй эти записи в качестве справочного материала и для овладения мастерством». B.N. 2038 8a

Текстуально совет адресовался художникам, но фактически записи Леонардо в сохранившихся карманных записных книжках из Парижской и Лондонской коллекций имеют чисто научный характер. Следует отметить, что помимо наблюдений он записывал в эти книжки также и *неожиданно пришедшие в голову* важные идеи. Так, например, важнейший шаг к решению проблемы вечного двигателя, а именно, переход от изучения всего колеса к детальному анализу его упрощенной модели из трёх элементов (см. **Рис. 5-а** в параграфе Н-3), представляет собой фактически рисунок на полстраницы в маленькой записной книжке Ms. I, 42 v без каких-либо комментариев и никак вроде бы не связанный с заметками по соседству.

Мой дорогой читатель, а не пора ли Вам последовать этому совету универсального гения?

1.2.1. Наблюдать ≠ видеть

«Глаз, называемый окном души, есть главный путь, благодаря которому общее чувство может в наибольшем богатстве и полноте созерцать бесконечные произведения природы». B.N. 2038, 19r

«Всё наше познание начинается с ощущений». Tr. 20 v, и зрение - наиболее важный из органов чувств.

У всех людей есть глаза, но мало кто использует их в полной мере для изучения явлений в окружающей природе. Почему так? *Знать, как смотреть* (по-итальянски это звучит более мелодично - *Saper vedere*) очень важно как художнику, так и учёному. Обычный, нетренированный глаз является не лучшим инструментом, он видит только внешнюю сторону вещей и оценивает их лишь по внешнему виду, а зоркий глаз проникает вовнутрь, находя там содержание, о котором снаружи не было и намёка и которое другие не замечали. Несомненно, чувствительный и тренированный взгляд художника и учёного может ощутить, постичь много больше, чем глаз обычного человека. Имеется большая разница между понятиями *смотреть, видеть, увидеть, наблюдать*. Человек смотрит глазами, но визит разумом (даже на самой первой, чисто физиологической стадии процесса зрительного восприятия, глаз формирует перевёрнутое изображение объекта на сетчатке, а мозг автоматически переворачивает его ещё раз). Так, например, все люди часто *смотрят* на облака, некоторые *видят* изменяющиеся со временем их формы, и лишь очень-очень немногие начинают *наблюдать* за облаками, пытаясь понять суть происходящих процессов. Говоря об облаках, стоит здесь же упомянуть, какие физические явления фундаментального значения Леонардо да Винчи смог увидеть, сформулировать и в основном правильно понять, глядя на облака 500 лет назад:

«Опиши, как облака образуются и как они растворяются, и что заставляет пар подниматься с поверхности воды в воздух, и как образуется туман... как вода превращается в снег и в град... о формах, которые снег образует в воздухе...». Ms. F 35 r

Не могу не привести здесь ещё одну, может быть, чересчур длинную цитату, потому что Леонардо подробно обсуждает здесь ту же проблему, и к тому же употребляет приведённый выше набор понятий ***видеть - увидеть - наблюдать***:

«Когда образуется облако, возникает также и ветер... При образовании облака влажный воздух втягивается из тёплой области в холодную, которая лежит выше облаков; следовательно, нужно быстро набрать огромное количество воздуха, чтобы образовалось плотное облако; и так как нельзя сделать вакуум, окружающий воздух стремительно занимает то место, откуда был взят воздух при образовании облака. Этот воздух не может прийти с земли, так как тогда на поверхности земли должен был бы образоваться вакуум: облако отсасывает его со стороны... Я однажды имел возможность наблюдать этот процесс недалеко от Милана в районе озера Лаго Маджоре. Я увидел облако в форме огромной горы, которая выглядела как скопление горящих утёсов. И эта гора притягивала к себе все маленькие облака, что были поблизости, а сама оставалась на месте. Её вершина оставалась освещённой солнцем ещё полтора часа после заката, так велика была её высота; и примерно через два часа, ночью, возник очень сильный ветер, - явление эффектное и неслыханное». Hammer 9B-28r

Отмеченные в первом отрывке наблюдения, которые Леонардо полагал необходимым исследовать (в сохранившихся материалах есть ответы не на все вопросы), представляют собой фактически ключевые проблемы раздела «Фазовые Переходы» современной физики: переход жидкость-пар, переход жидкость – твёрдое тело, процесс кристаллизации. Во втором отрывке дано объяснение явления конденсации пара в процессе образования облака и связанным с ним изменениями в окружающем воздухе. Рост неподвижного облака, наблюдавшийся Леонардо да Винчи в районе Лаго Маджоре, представляет собой редкое явление; в описанном процессе определяющую роль играли, очевидно, относительные движения больших масс влажного воздуха, приходящего с Атлантики и задерживаемого грядой высоких Альпийских гор.

Хочу напомнить известный афоризм Козьмы Пруткова *«Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые; иначе такое бросание будет пустой забавою»*. Как сильно изменится смысл этой фразы, если заменить слово смотри на наблюдай! В формулировке Козьмы Пруткова это был саркастический совет создания видимости дела из пустого занятия. В результате наблюдений и научных исследований того же процесса были получены следующие фундаментальные результаты:

- Наблюдение характерной особенности волнового (и только волнового!) движения - сохранение формы возмущения после прохождения через область, охваченную колебательным движением от другого центра – послужило основанием для вывода о волновой природе звука и света – Леонардо да Винчи;
- Установление закономерностей специфического процесса – интерференции волн – Леонардо, Гюйгенс, Ньютон;
- Выяснение механизма формирование цунами, а именно, резкое возрастание амплитуды протяжённой волны в океане при выходе на мелководье – М.А.Лаврентьев.

<u>Задачи-Леонардески</u>

Уважаемым молодым читателям для самопроверки предлагается несколько вопросов в связи с обсуждением проблемы образования облаков:

46. Облака состоят из маленьких капелек воды. Вода в 1000 раз тяжелее воздуха. То есть, капельки должны были бы достаточно быстро падать.

а) Объясните, почему облака «не падают», а пролетают зачастую тысячи километров (например, от Гольфстрима до Новосибирска) пока не прольются в виде дождя.

б) Когда Вы будете лететь на самолёте, обратите внимание на то, что нижняя поверхность облаков выглядит поразительно плоской. Почему так? Чем определяется верхний уровень облака?

в) Почему в некоторых районах можно наблюдать 2-3 чётко разделённых слоя облаков?

47. Исследуйте особенности процесса образования морозных узоров на окнах.

48. Исследуйте зависимость формы и размера снежинок от условий образования (температура, влияние малых примесей, влияние электрического поля…). Вас ожидают здесь потрясающие открытия!

1.2.2. Тренировка способности наблюдать и памяти

Способность заметить существенные особенности объекта или явления очень важна как художнику, так и учёному. Способность эту можно тренировать. Несомненно, читатели отнесутся с большим вниманием к трём простым и эффективным методикам Леонардо да Винчи, которыми он пользовался сам и рекомендовал ученикам:

«О полезных развлечениях для художников: Если Вы хотите получить от игр некоторую пользу, то Вам всегда надлежит пользоваться вещами в интересах Вашей профессии, то есть так, чтобы придать правильное суждение глазу и научиться правильно оценивать истинную ширину и длину предметов; чтобы приучить ум к подобным вещам, пусть один из вас проведёт какую-либо прямую линию на стене, а каждый из вас пусть держит в руке тоненький стебелёк или соломинку и отрезает от неё кусок такой длины, какою ему кажется нарисованная линия, находясь при этом на расстоянии в десять локтей; ... и тот, кто наиболее приблизился своей мерою к длине образца, тот будет победителем и получит от всех приз, заранее вами установленный. Следует также взять трость и рассматривать её с некоторого расстояния, и пусть каждый оценит, сколько раз данная мера уложится на этом расстоянии. Или ещё: кто лучше проведёт линию длиною в локоть. Подобные игры придают правильность суждениям глаза, что является главным действием в живописи». B.N. 2038 26v.

«Как научиться запоминать: Если ты хочешь хорошо изучить вещь, то придерживайся следующего способа: когда ты срисовал один и тот же предмет столько раз, что он, по-твоему, запомнился, то попробуй сделать то же без образца; заранее же прорисуй свой образец через тонкое и гладкое стекло и положи его на тот рисунок, который ты сделал без образца; заметь как следует, где прорисовка не совпадает с твоим рисунком; и где найдёшь ошибку, запомни это, чтобы больше не ошибаться; мало того, возвращайся к образцу, чтобы срисовывать столько раз неверную часть, пока ты не усвоишь её как следует в воображении». B.N. 2038, 24r.

Последовав этим советам, Вы сможете улучшить столь полезные навыки внимания к деталям и запоминания, причём в Вашей душе останется навсегда чувство приобщения к творческой кухне гениального Леонардо да Винчи.

«Как сделать воображаемое животное выглядящим как настоящее. Если ты хочешь заставить казаться естественным вымышленное животное – пусть это будет, скажем, змея, - то возьми для её головы голову овчарки или легавой собаки, присоедини к ней кошачьи глаза, уши филина, нос борзой, брови льва, виски старого петуха и шею водяной черепахи». B.N. 2038, 9r.

Эта методика направлена на тренировку способности запоминать детали наблюдаемого объекта и вместе с тем на тренировку способности создавать новое из известных элементов. Второй аспект особенно важен для инженеров, поскольку неожиданное объединение элементов разных машин для решения сложной технической проблемы может приводить к эффективному решению и признаётся патентоспособным.

Задачи-Леонардески

49. Нарисуйте фантастическую змею по описанию Леонардо и придуманного Вами фантастического животного.

50. Проанализируйте с позиций, высказанных Леонардо, изображения инопланетян.

51. Создайте усовершенствованное приспособление для своего рабочего стола, комбинированный инструмент или полезное устройство для кухни, огорода. Не расстраивайтесь, если Ваше первое изобретение окажется уже известным. Во всяком случае, это станет Вашим большим достижением!

Полагаю, что читатель знает или легко может найти в литературе специальные рекомендации психологов по развитию памяти. Два простых и эффективных принципа хорошо известны. Первый – "повторение – мать учения". Второй – так называя мнемоника, специальные звучные фразы, стихи, позволяющие легко запомнить важные законы, правила, факты. Я никогда не использовал на практике, но помню со школы одиннадцать десятичных знаков числа π = **3.1415926536...** благодаря стиху со старорусской транскрипцией с ятями «кто и шутя и скоро пожелаетъ **пи** узнать число, ужъ знаетъ». Основание натуральных логарифмов легко запоминается по формуле **2.7 +** дважды год рождения Льва Николаевича Толстого **e = 2.718281828...** Эта величина часто используется в науке, например, в формуле Циолковского

$m = m_0 e^{-V/V_0}$ для массы **m** горючего, которую необходимо сжечь, чтобы разогнать ракету до скорости **V** (здесь **Vo** – скорость истечения газов); в законе радиоактивного распада $N = N_0 e^{-\lambda t}$, определяющего долю нераспавшихся частиц до момента времени **t**.

Действенность рекомендаций Леонардо обосновывается нейрофизиологическими исследованиями. Уровень зрительной памяти поразителен: как отмечается в [97], когда испытуемым показывали десять тысяч изображений, 99.6% из них они затем узнавали правильно. Вернитесь к упомянутым выше правилам запоминания значений чисел **e** и π и Вы почувствуете как в процессе повторений соответствующие цепочки нейрон – синапс - нейрон – синапс – нейрон – ... в Вашем мозгу включаются всё легче и легче вследствие образования параллельных линий (помните ли Вы, что при параллельном включении **N** резисторов итоговое сопротивление уменьшается и становится **R/N** ?). Особенно прочные связи возникают, когда в процессе запоминания участвуют аналогии и эмоциональные элементы, поскольку при этом активно включается правая, образная, половина мозга. Так, число e теперь ассоциируется теперь в Вашей памяти с Вашим знанием и ощущением Льва Толстого.

Приведённые ниже специальные рекомендации для учителей и лекторов также базируются на нейрофизиологических исследованиях:

Чётко определите, что студенты должны узнать из лекции, обратите особое внимание на суть изучаемых явлений, на обоснование наиболее важных моментов образными представлениями, демонстрациями, математическими выкладками, проверочными вопросами.

Линейный, последовательный стиль изложения, принятый в современных учебниках, должен сопровождаться методами, которые дают студенту возможность активизировать образное мышление, воспринимать как явления в целом, так и его важные детали.

Активно и аккуратно используйте аналогии, такие, например, как аналогия между электрическим током и потоком жидкости, аналогия между электростатикой и магнитостатикой, сходства и различия в развитии различных объектов исследования.

Старайтесь воздействовать на ощущения школьников при изучении особо важных моментов через яркие демонстрации, через их непосредственное соучастие в развиваемых модельных представлениях. Например, очень полезным является игровой элемент при усвоения понятия о сути температуры в молекулярной физике (школьники – «частицы», двигающиеся на ограниченной территории с малой скоростью при низкой температуре, затем всё быстрее и быстрее в «процессе нагревания»), при моделировании химических реакций и структурных формул в органической химии.

То, что записано на левой стороне доски, лучше запоминается, поскольку левый глаз связан с правой, образной половиной мозга.

1.3. Искусство ⇒ Наука

1.3.1. Художник помогает учёному

Старая надпись на стене родительского дома Леонардо в маленьком городке Винчи недалеко от Флоренции гласит: «Только о Леонардо можно сказать, и это никоим образом не будет преувеличением: всё, до чего бы он ни касался, превращалось в вечную, непреходящую красоту. Будь то поперечное сечение черепа, строение растения или мышцы человеческого тела – под воздействием его поучительного управления рисунком и эффектами светотени он превращал их навечно в жизненно важные ценности» (Bernard Berenson, 1896). Многие научные рисунки Леонардо выполнены на таком высоком уровне, что могли бы стать украшением самых известных художественных музеев мира. Необычайные навыки художника позволяли ему выразить любое наблюдение в детальном и ёмком рисунке без необходимости подыскивать подходящие слова. Это особенно важно при изучении сложного явления впервые, без достаточного знания фундаментальных законов, которые управляют процессом.

Об одной из самых знаменитых анатомических иллюстраций Леонардо да Винчи, «Великой Леди Анатомия», **Рис.50** (См. раздел Иллюстрации), мы говорили ранее. Поразительно эффектным является техническое решение, впервые применённое Леонардо да Винчи для представления на единой схеме относительного положения органов и связей между ними, - «убирание всего лишнего». Взгляните также на другой рисунок Леонардо да Винчи, **Рис.70** (См. раздел Иллюстрации) в параграфе 3.2. главы III. Решение проблем, который представляет собой фактически квинтэссенцию целого раздела его исследований о движении воды. Вы увидите там применение того же приёма для наглядного представления наблюдений эффектов возникновения и взаимодействия вихрей, формирования пузырей.

1.3.2. Корреляция между способностями к искусству и к науке

Выдающиеся учёные часто проявляют повышенный уровень способностей к искусству. Леонардо да Винчи был в этом отношении отнюдь не уникальным. Вот имена лишь некоторых русских учёных из этого списка. Михаил Васильевич Ломоносов (1711- 1765) – физик (принцип сохранения массы, объяснение тепла как движения корпускул), химик, геолог, художник (сам изготавливал смальты для своих мозаик), поэт. Александр Порфирьевич Бородин (1833-1887) – химик (фундаментальные работы в органической химии; он, в частности, первым получил фторорганические соединения), знаменитый композитор (опера «Князь Игорь», симфонии, романсы). Антон Павлович Чехов (1860 - 1904) – один из наиболее читаемых писателей в мире, окончил медицинский факультет Московского Университета, работал практикующим врачом. Можно сказать, что Чехов принёс научный подход в литературу, изучая жизнь как явление природы, и ставил диагнозы болезням общества. Александр Леонидович Чижевский (1897-1964) - биофизик, один из основоположников космической биологии (установил зависимость между циклами солнечной активности и многими явлениями в биосфере), историк, поэт, художник.

Корреляция между способностями к науке и искусству основана на близости соответствующих нейрофизиологических механизмов. Конечной целью работы как художника, так и учёного является создание нового объекта – картины, скульптуры или нового знания. Леонардо очень высоко оценивал эту способность, поскольку художник может зафиксировать прекрасное лицо, живописный пейзаж, интересное явление, может выразить новое знание, полученное им, в своём творении:

«О, удивительная наука, которая может сохранить мимолётную красоту смертных и наделить её постоянством, большим, чем у творений природы; ведь они подвержены постоянному изменению со временем, которое

неизбежно ведёт их к старости! И такая наука находится в том же отношении к божественной природе, в каком её творения относятся к творениям природы, и за это она обожается». T.P. 29

Именно в этом смысле *«Художник соперничает и спорит с природой».* Forster III 44v.

Нужно было добиться много и быть очень уверенным в своих возможностях и в своей правоте, чтобы сделать такое заявление! (Следует напомнить, что в то время понятие наука более соответствовало современному понятию *теория*). Но ещё с большим основанием Леонардо мог бы высказать аналогичную мысль о творениях учёного: *«Учёный соперничает и спорит с природой».* Яркими представительными примерами творений такого уровня у Леонардо да Винчи являются портрет Моны Лизы и изображённый за ней ландшафт, серия гротескных лиц, рисунки потоков воды, более информативные, чем высокоскоростные фотографии, многие изобретения.

Познание законов природы открывает новые горизонты для получения ещё большего знания и для улучшения условий жизни. Можете ли Вы представить, какие технические достижения отсутствовали бы в окружающем человека мире, без открытия Основного Закона Механики **F = dP/dt**, сформулированного Ньютоном, без периодического закона химических элементов Менделеева, без открытий Ампера-Фарадея-Максвелла в области электромагнитных явлений? Среди недавних научных достижений, которые в буквальном смысле соперничают с природой, можно отметить *создание* трансурановых элементов, космических станций, успехи генной инженерии.

Исследования нейрофизиологов с использованием томографии позволили наблюдать, как поток крови направляется к различным участкам мозга в зависимости от вида деятельности. Установлено, что, в восприятии слов ушами, глазами, при обдумывании и чтении текста участвуют разные отделы мозга [51]. Тесная связь между способностями к искусству и к науке согласно этим исследованиям существует потому, что процессы решения сложной научной проблемы, создания нового художественного или музыкального произведения происходят в близко расположенных, а фактически в перекрывающихся, участках мозга. Как правая, так и левая части коры больших полушарий головного мозга вовлечены обычно в творческий процесс.

Внимание: левши!

Уважаемые родители и учителя! Учитывайте при обучении левшей, что они имеют от рождения структуру мозга и способности, существенно отличающиеся от того, что присуще праворуким сверстникам. Их преимущественно образное мышление способствует более быстрому и эффективному развитию творческих способностей к рисованию, музыке, к формированию модельных научных представлений. Но зато при обучении счёту, чтению, письму, там, где важно формирование логических связей, они могут отставать от праворуких. Терпимо относитесь к их неблестящим успехам по некоторым предметам в начальной школе, к корявому почерку. Помните также, что такие дети очень чувствительны к несправедливости, к обиде, что проявляется в печальной статистике самоубийств.

1.3.3. Воспитание творческих способностей

Мозг, хорошо обученный для какого-либо вида творчества, будь то рисование, музыка, сочинение стихов, сказок, оказывается одновременно с этим подготовленным и для творчества в других областях. Этот вывод имеет огромное практическое значение для родителей и учителей, потому что творческий потенциал полезен каждому, а не только профессиональному художнику или учёному.

Леонардо да Винчи рекомендовал простой приём для развития воображения, столь важного для любого вида творчества:

«Когда ты смотришь на стену с пятнами или с включениями камешков, ты можешь обнаружить местами подобие различных ландшафтов, украшенных холмами, скалами, реками, деревьями, можешь увидеть сражаю-

щихся людей, странные лица или одежды и бесконечное множество других объектов, которые ты мог бы превратить в завершенные формы и зарисовать». B.N. 2038, 13a



Рис.62

Видимо, многие наслаждаются живописными формами облаков, созданными природой картинами на срезах агатов, яшм, корнями и ветками необычной формы. У меня дома тоже хранится несколько необычного вида корней, которые сам находил в походах и лишь слегка подправлял (самые интересные из них: распятие со страдающим Христом, фехтовальщик в прыжке, голова быка), изображение бурного потока на тридцатисантиметровом срезе из куска ревнёвской яшмы с Алтая, мастерски изображённые природой в камне веточка японской вишни и горные пейзажи, а также фотография «петроглифа - шагающих воинов», **Рис. 62** , а на самом деле – пример необычного процесса деформации – зигзагообразного двойникования в монокристалле цинка, нагруженном плоской ударной волной. Это один из наиболее красивых результатов моих научных исследований.

В процессе решения сложной задачи воображение даёт зачастую надёжное направление к нахождению сути явления. Разрабатывая пособие для учащихся Новосибирской Физматшколы «Как решать задачи по физике» (см. Приложение 1), я следующим образом сформулировал это положение: «Представьте себя бревном, электроном или другим объектом, поведение которого исследуется в данной задаче. Тогда Вы лучше прочувствуете процесс, избежите формального подхода и правильно решите задачу». Мои ученики сразу и навсегда запоминали эту полезную рекомендацию, благодаря двузначности слова «бревно» в этой фразе: с одной стороны, здесь имеется в виду задача об исследовании движения бруска под действием некоторых сил, с другой, «бревном» в просторечии называют глупого человека.

Имеется ещё один не менее важный в контексте нашего исследования аспект взаимосвязи между наукой и искусством, а именно, влияние раннего развития способностей ребёнка к рисованию и к музыке на уровень его способностей к научным исследованиям в будущем. Способность генерировать новые идеи не рождается на пустом месте. Как было подчёркнуто ранее, в параграфе Н -12.2, основные структуры в мозге закладываются в раннем детстве, от рождения до 5-10 лет. И, что особенно важно, оптимальные временные интервалы для включения нейронных цепей, ответственных за способности к математике и логике приходятся на возраст от 0 до 4 лет, за способности к музыке – от 3 до 10 лет. Новые идеи базируются фактически на структурах мозга, вовлечённых в формирование изображений, восприятие звука, слов, логики. Итак, мой уважаемый читатель, когда Ваш ребёнок нарисовал что-то своё по своей инициативе, или сочинил какую-то историю, или соорудил фантастическую модель из конструктора, всемерно поддержите его активность!

Следует остановиться здесь также на особой роли музыки в развитии творческих способностей. Ещё Платон отмечал, что «музыка является наиболее эффективным инструментом среди всех видов обучения». Музыка сильнее, чем какой-либо другой вид искусства, активизирует одновременную работу обеих половин коры больших полушарий мозга. Влияние занятий музыкой на развитие логики убедительно показано исследователями из Калифорнийского Университета 60, которые наблюдали развитие двух групп 3-летних детей. В одной группе были занятия по музыке и пению, в другой - не было. Через 8 месяцев после начала занятий дети, занимавшиеся музыкой, показали в решении логических задач успехи на 80% выше, чем дети из параллельной группы. Интересно, что специфические интеллектуальные способности поддерживаются музыкальными произведениями различных стилей (информация из доклада учителя музыки Валентины Михайловны Никифоровой на конференции, посвященной развитию творческих способностей, Новосибирск, 1997). Так, звучащие в аудитории фуги Баха облегчают решение задач и построение логических конструкций, музыка Чайковского, Шумана и Бетховена способствует образному мышлению, диско-музыка хороша для операций с числами, симфонии и оперы благоприятствуют построению в голове интегральной картины явления, Моцарт – «солнечный композитор», колокольные звоны повышают сопротивление организма болезням!

1.3.4. Особые требования для развития способностей к науке

Большое сходство между творческим духом искусства и науки не означает всё же совпадения этих способностей. Профессиональные качества художника и учёного существенно отличаются в необходимости формирования и развития специфических «баз данных» и в развитии специальных технических приёмов. Обучение ребёнка в раннем детстве рисованию, музыке, танцам способствует, но всё же не гарантирует его будущих успехов в научной работе. Показательна в этом отношении современная ситуация в Американской системе школьного образования, где достигнуты большие успехи в обучении искусству в начальной школе, но мало внимания уделяется обучению естественным наукам. Хочу привести высказывание знаменитого Американского физика первой половины XX века Перси У. Бриджмена (Нобелевский лауреат за фундаментальные исследования в физике высоких давлений, основатель операционализма, эффективного подхода к организации и анализу исследований – см. раздел 3.4.3) о специфических особенностях мозга учёного: *«В настоящее время существует дело, которое не любит выполнять обычный человек, - это использовать свои мозги, особенно когда его к этому принуждают. С другой стороны, единственное, что учёные и люди того же склада любят делать – это использовать их умение думать. Налицо конфликт темпераментов, который всегда существовал, но на который теперь необходимо обращать большее внимание в связи с возрастанием роли учёных в современной жизни»* [27] . Это высказывание знаменитого физика и философа следует воспринимать не просто как свидетельство о различии темпераментов, но как указание для корректировки приоритетных задач системы образования.

Ранее, при обсуждении нейрофизиологических основ творчества (параграф Н-11) отмечалось существование временных «окон» для включения характерных нейронных цепей в мозгу. На основе своего многолетнего опыта обучения детей я пришёл к выводу, что имеется два критических временных интервала для формирования структур, ответственных за творческие способности к науке. В первый, чрезвычайно важный период активных почемучечных вопросов, от года до 5-7 лет, необходимо поддержать и развить любознательность, воображение и некоторые, общие для искусства и науки навыки наблюдения, формулировки вопросов и представления мыслей ребёнка. К началу второго периода, от 10-12 до 15-16 лет, накопленные знания фактического материала о процессах в природе, в технике, в обществе образуют солидную базу для построения систематизированной, научно обоснованной картины мира. Воспитание способности добывать знание, или, говоря словами Леонардо, усвоения *«правил хорошего понимания»* процессов и явлений жизненно важно для любого человека, не только для будущего учёного!

«Эти правила дают тебе способность легко делать верные суждения, а так как верное суждение рождается из хорошего понимания, а хорошее понимание исходит из причин, истолкованных на основе этих правил, то хорошие правила являются детьми хорошего жизненного опыта – общей матери всех наук и искусств. Следовательно, имея в голове рецепты моих правил, ты сможешь просто на основе своих улучшенных разумных суждений всё подвергать критическому разбору и познавать». C.A. 221 v.

К сожалению, авторы современных учебников выбирают обычно самый лёгкий для себя и для учителей способ преподнесения знаний в виде готовой информации без акцента на более полезную, и, несомненно, более сложную, работу с использованием научного метода для осознания изучаемого материала. В некоторых странах, включая США, начало преподавания физики (науки о сути процессов в природе!) на достаточно высоком уровне откладывается до колледжа, т.е. до 16-18- летнего возраста. Это слишком поздно, и многие люди в этих странах не будут иметь возможности реализовать свои врождённые способности. Считать, что самые умные смогут пробиться через искусственно создаваемые трудности (удержание интеллекта способного человека на принудительно низком «среднем» уровне) слишком жестоко по отношению к миллионам (!) людей, поскольку жизнь даётся лишь раз. К тому же это наносит непоправимый вред государству. Напомню, что согласно данным психологов, 4-5% людей в школьном возрасте способны решать нестандартные проблемы.

Научный подход к процессам и явлениям включает навыки наблюдения, аккуратного проведения экспериментов, анализа данных, разработки модели явления. Хорошие преподаватели-естественники не просто передают своим ученикам более или менее объёмную информацию, которая к тому же легко доступна из учебников и Интернета. Они вовлекают учащихся в процесс добывания знаний через собственные усилия,

развивают у них научный метод мышления. «Процесс образования – не просто накопление фактов. Знание добывается, не предписывается!» Такой принцип, чётко сформулированный коллективом учителей Иллинойской Академии Математики и Науки (Американский аналог нашей ФМШ), правильно отражает сущность методов, которые необходимы для тренировки врождённых творческих способностей человека. Человеческий мозг запрограммирован на самообучение, и это свойство нужно всемерно поддерживать. Что действительно необходимо, так это *тренировать* творческие способности в выбранной области так же как тренируют пловцов, баскетболистов, балерин в развитии мускулов и координации движений. Мы вернёмся к практическим советам по развитию творческих способностей в главе 3.5 Интуиция.

Задачи - Леонардески

52. Исследуйте работу паука по сооружению паутины. Восстановите последовательные этапы его работы. Почему конструкции, сооружаемые разными видами пауков, столь сильно различаются? Найдите в литературе информацию о составе паутинной нити и её свойствах. Как применяются на практике идеи Природы, столь успешно используемые пауками?

53. Тело брошено в вертикальном направлении с некоторой начальной скоростью. Что больше: полное время движения вверх и вниз в вакууме или в воздухе?

1.4. Явление в целом

Опять скажу: никто не обнимет необъятное!
Козьма Прутков

Маленькие дети любят строить башни из кубиков. Высокая башня поперечным сечением в один кубик неустойчива. Обнаружив это, они самостоятельно или с подсказкой переходят к сооружению более устойчивых и выглядящих лучше конструкций, используя такие усовершенствования, издавна применявшиеся при строительстве соборов, как, например, толстые стены, мощные горизонтальные связки, боковые поддержки. Подобным образом каждый человек строит у себя в голове своё собственное представление о структуре мира из огромного числа «кубиков», каждый из которых привносит некоторую конкретную информацию. Красота, полезность сооружаемой мысленно «конструкции» и возможность её дальнейшего развития зависят от качества материалов и дизайна. Качество материалов определяется кругозором человека, глубиной наблюдений и уровнем полученных знаний в различных областях. Главными особенностями дизайна - проекта являются «архитектурный стиль» и организация связей между структурными элементами. Каждая такая структура уникальна, хотя стандартное образование и формирует типичные блоки. Разброс качества сооружений огромен, от наборов практически несвязанных «информационных кирпичиков» до прекрасных конструкций типа величественных соборов Высокой Готики с надёжным фундаментом, прочными связями между аккуратно упорядоченными внутренними структурами, контрфорсами и несколькими «башнями» глубоких профессиональных интересов.

Леонардо потратил большую часть жизни на создание своего главного шедевра – Картины Мира. Она была сотворена в его мозгу и представляла его ***вѝдение*** всего многообразия наблюдаемых объектов и явлений, начиная от солнечной системы, процессов в воздухе и в воде до горения, оптических эффектов, механизмов органов чувств, и т.д., и т.д. Его картины, рисунки, и многочисленные систематизированные и несистематизированные научные записи представляют собой сохранившиеся фрагменты этой Картины. Поэтому так естественным в устах Леонардо, художника-учёного, было заявление, что внутреннее единство мира должно быть руководящим принципом в научном исследовании любого явления. Всё в явлении важно. Исследователь, который игнорирует внутреннее единство мира, может пройти мимо и не заметить какие-то существенные стороны явления.

«Какая польза, скажи, может быть от того, кто с целью выделить часть предмета, в котором он выдаёт себя за специалиста, чтобы дать полное его описание, оставляет в стороне большую часть материала, из которого состоит целое»? Quaderni II, 14r.

Следующее афористическое высказывание Леонардо да Винчи настолько важно, что я на лекциях в ФМШ цитировал его сначала на Итальянском языке:

«La natura e` piena d'infinite ragioni, che non furono mai in isperienza». Ms. H 18 r

«В природе имеется бесконечное множество связей, чего никогда не бывает в эксперименте».

И ещё: *«Как королевство разделённое рушится, так и разум разделённый путается и ослабляется».* Arundel 180v

Не могу согласиться с тем, как Зигмунд Фрейд прокомментировал[53] очень глубокую и инструктивную мысль Леонардо о *бесконечном множестве связей в природе*. Знаменитый психиатр посчитал это высказывание «смутным и напоминающим слова Гамлета» и свёл его к заключению, что «каждое человеческое существо рассматривается соответствующим одному из бесконечного набора экспериментов, где реализуются эти «причины природы». По-моему, упомянутая выше книжка Фрейда представляет собой характерный пример неверной в принципе попытки втиснуть изучаемое явление (в данном случае – разум уникального гения) в некое прокрустово ложе навязываемой схемы (в данном случае – психо-сексуальный анализ).

Следует отметить, что подход к изучаемой проблеме, явлению как к единому целому практиковался не одним лишь Леонардо. Просто он использовал этот метод успешнее, чем другие исследователи. Фактически до начала XIX века не было ещё жёсткого разделения естественных наук на физику, химию, биологию, геологию, как в обучении, так и в исследованиях. Многие из известных учёных получали выдающиеся результаты в нескольких областях. Вспомним, к примеру, И. Ньютона – математика и физика, М.В.Ломоносова – физика, химика, минералога, Б. Франклина – автора фундаментальных работ по электричеству, гидродинамике, океанографии, физиологии.

К сожалению, противоположный, предельно суженный взгляд на мир более типичен для нашего времени узкой специализации. Учёные даже в близких областях науки, имеющие одинаковую запись в дипломе о специальности, нередко с трудом понимают проблемы и методы коллег. Количество подразделов в реферативных журналах отражает эту ситуацию, явно наблюдается тенденция к дальнейшему быстрому выделению новых направлений. Так, например, в ежемесячном журнале Physics Abstracts A от 15 апреля 2001г. 300 публикаций по электрическим свойствам конденсированных веществ были распределены по 7 темам, в том числе таким специфическим как 7110 – Теории и модели многоэлектронных систем в конденсированных средах; 7280 - Электропроводность полупроводников и изоляторов; 7410 – Критическая температура сверхпроводимости; 7920 – Поверхностные эффекты.

Узкая специализация на производстве и в науке ориентирует соответствующим образом и школу. *Предметный* принцип обучения приучает человека со школьной скамьи ***не видеть лес за отдельными деревьями.*** Раздробленное мировоззрение не способствует подходу к явлению как к целому. Но ведь это качество имеет огромное значение как с позиций познания, поскольку важнейшие открытии делаются обычно на стыке наук, так и на практике в условиях быстро изменяющихся технологий. Попытки современной школы преодолеть существующее разделение наук посредством организации так называемых «межпредметных связей» не решают проблемы.

Огромная важность рассмотрения явления как целого хорошо видна из достижений Леонардо в различных областях. Отметим сначала его многогранный функциональный подход к анатомии. Для того, чтобы наглядно показать, как это делается, давайте рассмотрим внимательно один раздел из его исследований - анатомию верхних конечностей и посчитаем число ***граней*** изучаемого объекта, которые привлекли внимание да Винчи.

Следующая цитата хорошо показывает его систему в организации анатомических исследований:
"Когда ты начнёшь изображать руку, помести сначала кости немного отделёнными одна от другой, так

чтобы истинная форма каждой кости была отчётливо видна, и, кроме того, их полное число и положение каждой. Приготовь затем продольный разрез каждой кости через середину, так что ты сможешь показать, какая из костей полая, а какая сплошная. Сделав это, помести кости в правильном положении и нарисуй руку целиком, полностью открытую, с видом изнутри. Затем изобрази суставы. Следующей демонстрацией будут мускулы, которые соединяют запястье и пальцы. Пятое: покажи сухожилия, которые двигают первые фаланги пальцев; шестое: которые двигают вторые фаланги; седьмое: которые двигают третьи фаланги пальцев. Восьмая демонстрация: нервы, которые обеспечивают чувствительность. В девятых, изобрази вены и артерии. В десятых, покажи полную руку с кожей и её размерами». Quaderni I, 2 r.

На **Рис. 63-а,б**, Fogli A 10 v, показаны два рисунка из выполненной в соответствии с намеченной программой анатомического исследования кисти, соответственно, кости в правильном положении и сухожилия, которые двигают третьи фаланги пальцев. Начнём наше перечисление с первоосновы – костей (**грань №1**). Здесь можно выделить подразделы функционального плана – размеры различных частей кости (№ 1-а); её внутреннее строение (№ 1-б) – сплошная, пористая или полая, заполненная костным мозгом; прочностные характеристики (№-1-в - так, например, полая кость имеет большее сопротивление при изгибе, чем сплошная той же массы).

Затем следуют мышцы (**грань № 2**), система кровеносных сосудов (**грань № 3**) и нервная система (**грань № 4**). Эти разделы в Виндзорском и Атлантическом Кодексах представлены несколькими десятками прекрасно выполненных анатомических рисунков. Причём Леонардо, как и в других анатомических исследованиях, всегда предлагал изучать и изображать изучаемые объекты двояким образом: детально как особые системы с присущими им характеристиками и во взаимосвязи с другими системами.

Грань № 5 - некоторые особенности чувства осязания, определяемые распределением нервов в исследуемом органе. Так, Леонардо обнаружил, что нервы, идущие по внутренним поверхностям указательного и среднего пальцев, связаны со спинным мозгом не по отдельности, как от других пальцев, а объединяются за третьими фалангами и передают, следовательно, в центр единый сигнал [Fogli A 13v]. Читатель может сам убедиться в правильности этого заключения Леонардо да Винчи.

Рис.63а

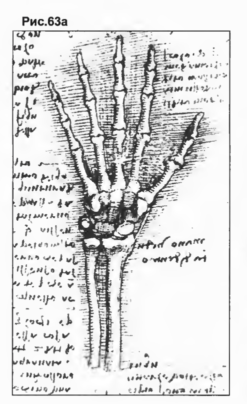
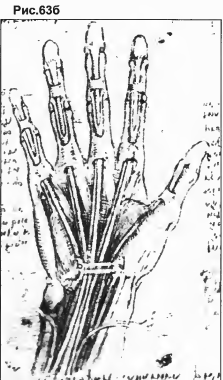


Рис.63б



Грань № 6- связь между нервной и мышечной структурой руки и её использованием для игры на музыкальных инструментах. Во-первых, Леонардо констатирует, что независимость чувствительности и управления движением пальцев позволяет играть на инструменте, а мозг в это время ожидает восприятия звука [Fogli A 13v]. По-видимому [117], исследование мышечных структур, обеспечивающих сгибание и разгибание пальцев, могло инспирировать изобретение Леонардо да Винчи флейты с клапанами, открываемыми соответствующим механизмом.

Далее, следует особо выделить тезис о разумности и функциональной целесообразности решений Природы при создании различных живых существ (**грань № 7**):

«Обратил ли ты внимание на заботливость природы, которая поместила нервы, артерии и вены не в центре, а на боковых поверхностях пальцев, чтобы они не пробивались и не прорезались при ударах по пальцам...». Fogli A 13v.

И, наконец, ещё один важный подход к изучаемой проблеме - успешное применение ряда понятий, разработанных в механике, к функциональному анализу некоторых структур в живых организмах (**грань № 8**). В анализируемом нами разделе это в первую очередь исследования величины силы и момента силы, которые могут достигаться при работе различных мышц:

«Чем ближе сухожилие прикрепляется к кисти, тем больший груз рука может поднять; рука обезьяны относительно сильнее руки человека, потому что она длиннее». Fogli B 9v.

Итак, результаты нашего анализа многообразия подходов Леонардо да Винчи к исследованию анатомии руки можно представить в виде изящного многогранника с 8 гранями – ***октаэдра***. Несомненно, можно было бы найти и ещё другие подходы, но, полагаю, *октаэдра* нам вполне достаточно.

Следует отметить также привлечение анатомии руки для анализа моментов сил, создаваемых системой грузов в «вечном колесе» (см. **Рис. 5–г, д** в разделе Н-3, Невозможность вечного двигателя). Вопрос о максимальной величине силы, развиваемой рукой, имел определяющее значение и для работ Леонардо по конструированию мускулолёта. Сравнивая движущую силу птицы и человека, он пришёл к заключению, что *«сухожилия и мышцы птицы несравнимо сильнее, чем мышцы (руки) человека, поскольку вся сила мышц её крыла и груди идёт на обеспечение движения крыла...человек может развить большую силу ногами, чем требуется для поддержки его веса».* Sul Volo 16 r. После этого заключения он отказался от конструкций мускулолёта на ручном движителе и переключился на модели с приводом от ног. Правильность этого вывода была подтверждена лишь в 1977 году, когда человек наконец-то смог подняться в воздух на мускулолёте с движителем велосипедного типа (см. более подробный анализ этих вопросов в разделе Н-2. Полёт).

На основе своих анатомических исследований Леонардо да Винчи сформулировал концепцию единства и взаимной согласованности различных частей сложной системы в общем виде:

«Каждая часть стремится объединиться с целым, уходя таким способом от собственной неполноты». С.А. 59 r.b.

Через 300 лет в работах знаменитого французского натуралиста Джорджа Кювье (1769-1832) теория Корреляции Частей, т.е. взаимной связи структуры и функций органов, послужила научной базой сравнительной анатомии и реконструкции вымерших животных.

Для читателей, знакомых со школьным курсом физики, Леонардов анализ проблемы перспективы будет ещё одним и может быть даже более наглядным примером целостного подхода к явлению. Различие в восприятии близко расположенного и удалённого объектов является проблемой первостепенной важности для художников. Если спросить первого встречного, что он может сказать о перспективе, он, возможно, отметит связь между видимыми размерами тела и углом зрения, а может быть и упомянет рельсы, сходящиеся на большом расстоянии. Леонардо – художник-учёный отмечал не только изменение видимых размеров:

«Имеется три вида перспективы: первая имеет дело с кажущимся уменьшением объектом при удалении от глаза; вторая касается того, как изменяется цвет объекта при удалении; третья объясняет, почему объекты кажутся менее чёткими на большем расстоянии. И называются они Линейная перспектива, Перспектива цвета и Перспектива исчезновения». B.N. 2038, 18r

Леонардо да Винчи детально изучил все эти три вида перспективы. Анализ перспективы исчезновения стимулировал создание им специфической техники живописи, *сфумато*. По образному определению одного из исследователей живописи Леонардо, «это середина, которую имеют свет и тень и которую нельзя назвать ни светом, ни тенью, но равно причастной и свету и тени».

Основной принцип линейной перспективы – построение пирамиды с вершиной в глазу наблюдателя предложил Леон Батиста Альберти, выдающийся предшественник Леонардо. Но да Винчи пошёл дальше и пришёл к пониманию, что в процессе зрительного восприятия человеческий мозг корректирует исходные чисто геометрические построения в глазу. Различия наиболее существенны при больших расстояниях (слияние отдельных элементов) и при относительно малых расстояниях (двойное изображение, сильные искажения).

Читателям, которые хотели бы более детально разобраться с вопросом о различных видах перспективы, очень рекомендую прочитать книгу академика Б. В. Раушенбаха «Геометрия картины и зрительное восприятие» 19 , где представлен поразительно глубокий анализ связи между тем, как человек воспринимал себя в мире в разные эпохи и как это влияло на построение пространства в живописи.

Задачи – Леонардески

54. Какие причины ответственны за так называемое бабье лето, сравнительно длительный период тёплой сухой погоды в средних широтах в сентябре-начале ноября. Попробуйте дать количественную оценку предложенному эффекту.

55. Будет ли гореть свеча в невесомости? Если будет, то как?

56. Лампочка накаливания питается переменным током. Как меняется во времени температура её нити?

1.5. Большой и малый масштаб

В записных книжках Леонардо да Винчи на нескольких сотнях страниц представлены чертежи его многочисленных инженерных проектов как по усовершенствованию существовавших в то время машин, так и по его собственным оригинальным идеям (летательные аппараты, землеройные машины, автоматические устройства различного назначения и др.). Чертежи Леонардо выполнены высоко профессионально и часто сопровождаются разрезами и детальной проработкой наиболее ответственных узлов. По прошествии 500 лет иногда эти детали представляют даже больший интерес, чем проект. Показателен в этом отношении его чертёж приспособления для отталкивания от стены крепости вражеских лестниц с изображёнными рядом четырьмя способами крепления в каменной стене сильно нагруженных балок (**Рис. 64**, С.А.89 г). Полагаю, Вы согласитесь, что его предложения просты и надёжны, особенно две верхние схемы. Эти решения могут быть полезны и для современных конструкций.

Рис.64

Художник обычно начинает писать картину с крупных планов, больших блоков, и лишь затем переходит к деталям. Подобным образом, при научном исследовании переход от большого масштаба к малому позволяет изучать явление «на разных уровнях», что предоставляет бóльшие возможности для определения существенных параметров процесса. В научных работах Леонардо именно исследование явления на разных масштабных уровнях не раз обеспечивало получение результатов фундаментального значения.

Одно из наиболее крупных научных достижений Леонардо да Винчи – формулировка Принципа Невозможности Вечного Двигателя. Как было показано ранее, в разделе Н-3, важнейшим этапом его работы над этой проблемой был переход от разработки различных конструкций «вечного колеса» к детальному анали-

зу распределения сил и моментов сил в системе из малого числа (из трёх-четырёх) элементов. И проблема была сведена к существенно более простой задаче статики.

Другой фундаментальный научный результат Леонардо да Винчи – вывод о волновой природе света. Внимательное рассмотрение соответствующего текста показывает, что этот вывод также был сделан на основе комбинации крупномасштабного и мелкомасштабного подхода к явлению. Наблюдение «крупномасштабного эффекта»: волны на воде от двух одновременно брошенных камней проходят одна через другую так, что на большом расстоянии от источников образуют концентрические круги. Наблюдение «мелкомасштабного эффекта»: соломинка, лежащая на поверхности воды, при прохождении волны не увлекается волной, а совершает колебательное движение. Вывод по аналогии: *распространение в пространстве звука и света характеризуется теми же закономерностями, что и распространение волн на воде, и, следовательно, звук и свет имеют волновую природу.*

Рассмотрим также, как разномасштабные подходы привели Леонардо к пониманию эффектов трения. Трение является одним из наиболее важных эффектов в механике, и первые исследования этого явления, главным образом прикладного характера (методы уменьшения трения) проводились ещё в Древнем Египте. Леонардо да Винчи смог получить в этой отнюдь не нетронутой области исследований целый ряд фундаментальных результатов (см. раздел 6.1). Прежде всего, для лучшего понимания сути явления, он обратил пристальное внимание на поверхности контакта:

«Нужно знать природу контакта, который вес имеет с поверхностью, по которой движется, потому что различные тела имеют различное трение; так, сдвиг по полированным поверхностям, хорошо смазанным жиром или мылом, происходит много легче, чем сдвиг по поверхностям, обработанным напильником или покрытым известью». Forster II, 86

Сохранившиеся до нашего времени записи не позволяют в точности проследить ход мысли Леонардо при исследованиях трения. Но, имея в виду его правильные выводы, я хочу предложить уважаемому читателю мой метод изложения этой проблемы на занятиях в ФМШ. Предположим, что нам удалось уменьшиться до микроскопических размеров и оказаться между поверхностями тел, сдвигаемых одно относительно другого. Что бы мы смогли там увидеть? Электронно-микроскопические исследования позволяют наблюдать даже на самых прецизионно полированных поверхностях неровности в виде выступов и впадин. Следовательно, контакт при трении осуществляется не по всей поверхности, а в областях «контактных пятен», где зацепляются неровности. Взаимодействие неровностей определяет механизм трения. При малой сдвигающей силе выступы деформированы практически упруго – это так называемое «трение покоя», когда сила трения равна сдвигающей силе. При большем смещении поверхностей имеет место пластическая деформация, приводящая к образованию мостиков схватывания и срыву бугров. Работа напильником помогает не только умом, но и руками ощутить и понять эти процессы. Крупномасштабный подход к проблеме трения означал для Леонардо необходимость определить величину силы, которая необходима для движения одного твёрдого тела по поверхности другого. Он сконструировал простой прибор с блоком и подвешенным грузом для исследования трения; ввёл понятие о коэффициенте трения и из опытов нашёл его численное значение равным около 0.25 (фактически, коэффициент трения для пары дерево-дерево равен около 0.3, для пары сталь-сталь около 0.15); и сформулировал закон трения для гладких поверхностей в виде $\mathbf{F} = \mu \mathbf{N}$, т.е. сила трения пропорциональна силе нормального давления и не зависит от площади соприкасающихся поверхностей (см. раздел 6.1).

Интересно, что Леонардо последовательно и успешно применял тот же методический приём изучении процесса в большом и малом масштабе не только геометрических размеров, но и временной шкалы. В программе его исследований по анатомии и физиологии человека записано:

«Этот труд должен начинаться с зачатия человека и должен описать особенности матки, и как в ней обитает ребёнок, и на какой ступени он в ней находится, и как он живёт и питается, и рост его, и какой промежуток между одной стадией его роста и другой, и что выталкивает его вон из тела матери...». Fogli B, 20 v.

«В своей «Анатомии» ты должен изобразить все ступени развития органов, от возникновения человека до его смерти и до смерти костей, и какая часть из них уничтожается сначала и какая часть дольше сохраняется». Quaderni VI, 22

Следуя по намеченному пути, Леонардо сделал много открытий и, в частности, впервые правильно описал атеросклероз как причину старения. Обращаясь к более далёкому прошлому, Леонардо впервые предложил правильное объяснение происхождения окаменелостей в горах и образования осадочных пород.

Нужно отметить здесь также ещё один момент, важный в исследовательской работе, поскольку он может быть как причиной возможных ошибок. Существенное изменение геометрических размеров приводит в некоторых случаях к резкому изменению в характере протекания процессов. Известно, например, что прочностные характеристики материалов зависят от размеров образца, и предельная прочность, измеренная на стандартных, сантиметрового размера, образцах, может оказаться значительно ниже в реальных крупных деталях из того же материала. Масштабный эффект связан с возрастанием при увеличении объёма материала вероятности присутствия больших, опасных дефектов (трещин, пор, включений). И, напротив, во многих материалах при -субмикронном диаметре образцов прочность повышается до уровня, соответствующего теоретической прочности идеального бездефектного кристалла, которая в десятки раз выше прочности обычного материала. Тонкие «усы» и нити металлов, сапфира, углерода, стекла широко используются при создании композитных материалов.

Монотонное изменение параметров может приводить при достижении ими некоторых критических значений к резкому качественному изменению в ходе протекания процесса. Так, превышение критической массы радиоактивного материала вызывает ядерный взрыв (вероятность того, что нейтрон, образовавшийся при ядерной реакции, попадёт в другое ядро, пропорциональна объёму материала, то есть R3, а вероятность ухода через поверхность пропорциональна R^2). В случае движения тела в воздухе или в жидкости при увеличении размеров тела до некоторой критической величины резко возрастает сопротивление движению тела в среде вследствие перехода от ламинарного течения к турбулентному. Эта критическая точка определяется безразмерной константой $\mathbf{VLd/\mu}$, так называемым числом Рейнольдса (см. более подробное обсуждение в главе V. «Ошибки Леонардо»).

В заключение этого раздела я рекомендую уважаемым читателям старше 5-6 лет и учителям найти на Интернете и внимательно изучить книгу “Космический взгляд на Вселенную за 40 прыжков» [26]. Кииз Боке (1884-1966), голландский инженер-строитель, который позднее стал известным учителем, написал необычную книгу. В ней приведена серия фотографий и схем, начиная с фотографии девочки, с последовательными скачками в масштабе на каждом шагу в 10 раз до изображения известной части Вселенной в одну сторону и до размера ядра атома - в другую.

Задачи – Леонардески

57. Мастерская получила заказ изготовить модель монстра – муравья в масштабе 1000:1. Обоснуйте, что намерение мастера изготовить модель посредством пропорционального увеличения всех размеров при использовании материала с теми же характеристиками, что имеет хитин муравья, ошибочно, поскольку такая конструкция будет недостаточно прочной.

58. Оцените, за какое время давление в космическом корабле упадёт на 5%, если в результате соударения с микрометеоритом в корпусе корабля образовалось отверстие площадью 1 см2.

59. Найдите в литературе взаимосвязи между макроскопическими характеристиками и соответствующими процессами на микроуровне для следующих научных законов:

- закон упругости Гука о пропорциональности между напряжением и деформацией $\mathbf{F/S = E\ \Delta L/L}$ и соответствующее соотношение $\mathbf{f=k(\Delta a/a)}$ для ячейки простой кубической решётки, где **f** – сила, действующая на атом, а $\mathbf{\Delta a/a}$ – относительное изменение параметра решётки. Найдите зависимость между жёсткостью связи **k** и модулем упругости **E**;

- атомная природа диа -, пара- и ферро - магнетизма;

- как наследственные характеристики записаны в генетическом коде;
- рассмотрите влияние важнейших научных и технических открытий на последующее развитие цивилизации.

1.6. Потребности практики

Потребности практики были, есть и всегда будут основным источником и стимулом научных исследований. Относительное количество чисто прикладных работ в научном наследстве Леонардо да Винчи много меньше по сравнению с современным состоянием науки. Связано это в первую очередь просто с низким уровнем фундаментальных научных знаний в те времена, так что он был вынужден зачастую проводить сначала, как мы сказали бы теперь, чисто академические исследования для успешного решения прикладных проблем. Этот источник проблем ясен и не нуждается в более подробном обосновании. Поэтому отметим здесь лишь несколько областей научных работ Леонардо, тесно связанных с потребностями практики: различные машины и детали машин; устройства для подъёма воды; мосты и каналы; архитектура; попытки создания вечного двигателя; проблемы полёта (см. разделы Н-2; Н-3; Н-4; Н-8).

Ограничимся одной цитатой. На странице 15 В-15 v Кодекса Хаммера перечислены 38 *«положений о движении воды»* с многочисленными рисунками и записью в конце:

«Наука об этих объектах очень полезна, так как она учит, как изменять направление течения реки и избегать разрушения в местах, по которым она ударяет». Hammer 15B-15v.

В списке проблем стоят вопросы, которые, действительно, необходимо было детально исследовать и сформулировать в виде практических рекомендаций, в том числе:

«2. Если вода ударяет по препятствиям, которые она не обтекает сверху, она вымывает грунт перед препятствием и намывает за ним.

3. А если вода обтекает препятствие сверху и вокруг, то она вырывает грунт вокруг, за исключением мест с малым наклоном, потому что там нет падения.

13. Как сильный поток следует удерживать на середине реки.

16. Берег, у которого река поворачивает, неизбежно будет разрушаться.

25. Как делать судоходные каналы, если их пересекает речка.

36. Как строить мосты через реки.

37. Как забирать воду из реки для орошения».

1.7. Жажда знаний. Любознательность

Добывать знание является естественной потребностью хороших людей.

Леонардо да Винчи

Важно не переставать задавать вопросы.

Альберт Эйнштейн

Высказывание Леонардо является на самом деле перефразировкой начального тезиса Аристотеля из вступления к «Метафизике», кн. А (1): *«Все люди от природы обладают желанием познавать. Подтверж-*

дением этого является наслаждение, с которым мы относимся к нашим чувствам; поскольку даже независимо от их полезности они любимы сами по себе». По этому критерию Леонардо да Винчи был очень хорошим человеком. Он повторил ту же мысль в другом месте с акцентом на некоторых особо важных проблемах: *«Знание прошлого и положения Земли является украшением и пищей для разума»*. С. А. 373 v-a

Вся его жизнь определялась этой ненасытной жаждой познания и стремлением проводить исследования, не смотря на часто высказываемое отрицательное мнение коллег-художников и представителей знати. Отзвук таких разговоров ясно слышен в твёрдой и несколько грубоватой отповеди Леонардо-учёного:

«Я знаю, что многие назовут это бесполезной работой, и они подобны тем людям, о которых Деметриус /Римский философ-циник, I в. н.э. – М.М./ *сказал, что звуки, производимые ветром, выходящим через их рот при произнесении слов, стоят не больше, чем звуки, производимые ветром, исходящим из их нижней области. Эти люди желают только лишь материального богатства и полностью лишены желания иметь разум, который как раз и является пищей и истинным богатством души. Поскольку душа стоит много больше, чем тело, постольку богатство души стоит много больше, чем богатство тела»*. С.А.119 v-a Эти слова звучат вполне современно и в наш прагматический век.

Естественное желание познавать окружающий мир проявляется в маленьких детях как *любознательность* в форме вопросов родителям и учителям (часто употребляемое слово *любопытство* едва ли справедливо применять по отношению к детям). В известном стихотворении Редьярда Киплинга отражены два существенно разных отношения старших к детским почемучечным вопросам:

Есть у меня шестёрка слуг
Проворных, удалых,
И всё, что вижу я вокруг, -
Всё знаю я от них.

Они по знаку моему
Являются в нужде.
Зовут их: Как и Почему,
Кто, Что, Когда и Где.

Я по морям и по лесам
Гоняю верных слуг.
Потом работаю я сам,
А им даю досуг.

Я по утрам, когда встаю,
Всегда берусь за труд,
А им свободу я даю -
Пускай едят и пьют.

Но у меня есть милый друг,
Особа юных лет.
Ей служат сотни тысяч слуг -
И всем покоя нет.

Она гоняет, как собак,
В ненастье, дождь и тьму
Пять тысяч Где, семь тысяч Как,
Сто тысяч Почему!»

Р. Киплинг, «Слонёнок»

Хочется сделать некоторые пояснения-замечания по поводу важной проблемы образования, отражённой в стихотворении Киплинга. Да, задавая *Почемучечные* вопросы, дети могут узнать много нужного и полезного, но только если у родителей есть время, желание, способность и терпение отвечать на вопросы. К сожалению, очень часто внутренняя, *естественная потребность ребёнка познавать* встречает не благожелательную поддержку, а натыкается на формальный ответ, а то и на нетерпеливый окрик. Девочке, про которую говорится во второй части стихотворения Киплинга, очень не повезло! Если бы хоть на некоторые из её вопросов был получен разумный ответ, человечество имело бы шанс получить вторую Марию Склодовскую-Кюри, получившую две Нобелевские премии. История сохранила очень мало имён воспитателей, обеспечивших раннюю поддержку будущих гениев. Можно упомянуть здесь такие яркие примеры как Аристотель, воспитатель Александра Македонского, и крестьянка Арина Родионовна, няня Александра Сергеевича Пушкина. Раннее развитие Леонардо, незаконнорожденного сына нотариуса Пьеро да Винчи, во многом определили любящие и внимательные воспитатели - его дед, нотариус Антонио да Винчи и неженатый дядя Франческо.

К сожалению, недостаточное внимание к *почемучечным* вопросам детей приводит к 6-7 годам если не к полному подавлению, то, во всяком случае, к существенному ограничению этого столь важного врождённого качества - любознательности и творческой индивидуальности.

В проблеме поддержки любознательности и раннего развития на её основе творческих способностей имеется ещё одно трудно преодолимое НО. Теперь даже маленькие дети получают огромные потоки информации из книг, телевидения (полезность этого источника информации сомнительна) и компьютера. Эти относительно доступные и лёгкие способы получения знаний, а по сути голой информации в виде фактов и каких-то данных, не благоприятствуют развитию другого, значительно более важного, метода - получения знаний через собственные наблюдения, эксперименты и обдумывание.

Полагаю, что для многих учителей и родителей будет полезен мой опыт общения с внуком Антоном и первоклассниками - почемучками в Новосибирской гимназии №3. Однажды, за полгода до поступления в школу, 7 января 1992 года Антоша попросил впервые дать попечатать ему на пишущей машинке. И вот что он напечатал (из оригинального текста убраны многочисленные опечатки и ошибки):

«Антон начинает задачу.
1. А почему камни прозрачные?
2. А почему на Американских горках вагон не сходит с рельсов?
3. А как телевизор работает?
4. Что такое электрон?
5. А как музыкальная открытка работает?
6. А как работает печатная машинка?
7. А как магнитофон работает? Что у него есть на ленте?
8. А как корабли работают? »

В этом случае можно проследить происхождение каждого из вопросов. Антону нравилась моя коллекция минералов, он знал названия многих из них. Так что происхождение первого вопроса ясно. Но аккуратно ответить, тем более ребёнку, на вопрос, почему некоторые камни прозрачны, нелегко даже профессиональному физику. Вопрос №2 вызван ярким впечатлением от катания на «Американских горках» предыдущим летом. Он никогда не задавал этого вопроса прежде. Другие вопросы более естественны. Явно просматривается его склонность к технике, но, что интересно, уже в 6-7-летнем возрасте он пытался понять причины. Такой интерес подталкивает многих детей к попыткам разобрать (сломать, с точки зрения родителей) игрушку, прибор, что вызывает обычно неположительную реакцию родителей.

Через три месяца после начала занятий в школе я заметил, что наши обсуждения Антошиных почемучечных вопросов стали очень редкими. Поэтому я решил организовать «Клуб Почемучек» в его классе. Молодая, не испорченная школьным бюрократизмом учительница с энтузиазмом поддержала моё предложение. Мы попросили первоклассников дать в письменном виде вопросы, которые их интересуют, и затем регулярно до конца года раз в неделю *обсуждали **их проблемы**, вместе с ними искали и находили решения*. Видели бы Вы ребячьи глаза, слышали бы Вы их оригинальные суждения во время этих обсуждений!

Исследование детских вопросов позволяет лучше понять особенности умственного развития человека в раннем возрасте, когда начинают формироваться система ценностей, интересы, навыки. Поразительно резко изменяется характер вопросов детей через полгода после начала занятий в школе. Напоминаю, это вопросы 7-летних ребятишек, лишь слегка затронутых школьным образованием, но с отчётливо видимым влиянием среды (Академгородок), книг и телевидения (приведена лишь часть вопросов):

<u>Антон Могилевский:</u>
9. Кто был первый человек на Земле?
10. Почему доисторический человек начал думать? (!)
11. Какое расстояние до Луны?
12. Существует ли «супермен»?

13. Из чего сделано железо?
14. Как работает клей? (!)

Валентин Симонов:
15. Сколько лет нашей Земле?
16. Из чего сделан порох?
17. Что получится, если смешать бензин и кислоту? (!)
18. Как сделать лазер? (!)

Наташа Савина:
19. Кто такой психолог?
20. Почему в неделе 7 дней? (!)
21. Что такое звезда?
22. Как был сделан компьютер?

Андрей Крюков:
23. Есть ли у Космоса край и центр?
24. Когда Космос был точкой, из чего была сделана коробочка, где он находился? (!)
25. Из чего можно сделать золото, стекло?

Александр Дзюбенко:
26. Скажите, пожалуйста, сколько лет я буду жить? (!)
27. Из чего состоит стебель цветка?

Неформально отвечать на «детские вопросы» иногда тяжелее, чем на вопросы студентов или коллег-учёных. Так, при обсуждении с ребятами вопроса Наташи Савиной «Почему в неделе 7 Дней?» мы последовательно разобрали следующие вопросы:

1) Что в окружающем нас мире устойчиво меняется каждые 7 дней? – фазы Луны.

2) Отчего это происходит?

3) Почему Луна повёрнута к нам всегда одной стороной? – приливная волна той же величины, что и на Земле, затормозила вращение Луны вокруг оси (это легко воспринимается, когда слегка касаешься руками поверхности раскрученного глобуса).

4) Но ведь приливная волна бежит по поверхности Земли с востока на запад, против направления её вращения относительно оси. Значит, вращение Земли тормозится, хотя и очень медленно.

5) Вывод: 560 миллионов лет назад земля успевала сделать не 7, а 8 оборотов вокруг своей оси за время между наступлением новой фазы Луны, то есть в «неделе» тогда было 8 дней! (Эта оценка была сделана палеонтологами при подсчёте годовых и суточных колец на ископаемых кораллах).

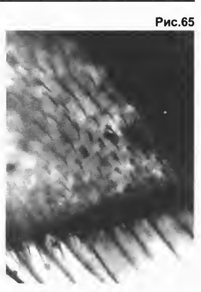
Несомненно, вопросы дошкольников и первоклассников, уже довольно зрелых по развитию интеллекта и ещё не доведённых школой до некого усреднённого уровня, более богаты и оригинальны. Можете ли Вы представить себе, чтобы старшеклассник задал вопросы типа 24, 14, 20 или 26?

И, наконец, вот некоторые из вопросов Антона в 4-ом классе:
30. Какова причина «северных сияний»?
31. Как возникает «солнечный ветер»?
32. Как возникают кометы? Из чего они состоят?

Здесь уже отчётливо видны попытки разобраться в физике явлений, где школьного образования явно не хватало. К 13 годам у Антона были глубокие интересы к проблемам физики, техники, он вполне профессионально работал на компьютере. Однажды во время летних каникул после окончания седьмого класса он принёс ко мне в лабораторию различных насекомых и внимательно изучал под микроскопом особенности строения их крыльев. Он обнаружил, что на крыльях комаров, мух и ос имеются ворсинки, которые выглядят как иголки при увеличении 500 (его фотография крыла большого комара показана на **Рис. 65**). Почему-то таких

ворсинок нет на крыле стрекозы. Назначение иголочек на задней кромке крыла понятно - это аналог закрылков на крыльях современных самолётов. Но для чего служат ворсинки, перпендикулярные поверхности крыла? Они даже кажутся вредными с позиций аэродинамики. Но Природа зачем-то затрачивает на них большой объём генетической информации. В то время, я не знал ответа на его вопрос. А вы можете дать ответ? Несомненно, Антон многого достиг бы в науке, если бы трагически не погиб в феврале 1999 года незадолго до 14-летия.

Рис.65



**Задачи – Леонардески**

60. Для чего Природа создала лес ворсинок на нижней стороне крыльев многих насекомых **(Рис. 65)**? Ведь они повышают сопротивление воздуха при движении «летательного аппарата».

61. Выше было подробно описано, как мы с первоклассниками на «Клубе Почемучек» обсуждали вопрос Наташи Савиной «Почему в неделе 7 дней?». В связи с этим не могли бы Вы оценить, когда на Земле будет 6 дней в неделю. Попробуйте также высказать обоснованные предположения о том, как отличались бы климатические условия и формы органической жизни на планете Земля, если бы угловая скорость её вращения была бы в 10 раз меньше существующей.

62. Температура небольшого «чёрного тела» на заданном расстоянии от Солнца может быть просто оценена в предположении равенства количества энергии, получаемой в единицу времени от Солнца, и энергии, излучаемой телом. Ответ для тела, находящегося на орбите Земли, известен, 300^{0}K. Проведите анализ распределения температуры в небесном теле диаметром 10 м, 100 м. Существенные параметры: расстояние до Солнца, диаметр, состав (железо, камень, лёд), теплоёмкость, теплопроводность, угловая скорость вращения. Эта проблема важна с точки зрения характера формируемой в теле структуры и её механических характеристик. Планируется в недалёком будущем заранее встречать астероиды, если расчёт покажет высокую вероятность их столкновения с Землёй, разрушать их или изменять орбиту.

1.8. «Верую!»

Философия научного подхода Леонардо да Винчи к явлениям в природе базируется на обожествлении красоты и порядка, присущего Природе, и на убеждённости в познаваемости законов Природы.

1.8.1. Природе присуща красота

Внутренняя красота принадлежит творениям природы самим по себе, независимо от человеческого восприятия:

«Можем ли мы сказать, что свойства трав, камней, и деревьев не содержатся в них самих, поскольку люди не знают их? Конечно, нет, и мы говорим, что те травы остаются благородными сами по себе без помощи человеческого языка или описания». Т.Р. 25

Леонардо - художник тонко чувствовал красоту творений природы, и в своих рисунках и картинах отображал эту красоту. Леонардо – учёный, познавая законы природы, боготворил полученные знания, считая, что тем самым он познаёт их Творца. И в своих творениях Леонардо–художник, учёный, инженер стремился находить самые *красивые решения*.

В его плане идеального города *красота* – исходная точка замысла и в то же время – конечная цель проекта. Антисанитария была бичом быстро растущих средневековых городов. Подземной канализации не было, и все отбросы текли по улицам (если Вам когда-нибудь придется побывать в Помпеях, обратите внимание на заглублённые проезжие части на улицах с массивными тумбами-кочками для перехода через грязь). Уже давно медики говорили, что грязь и испорченный воздух являются причиной эпидемий. Эпидемия чумы 1347-1351 гг., унесла жизни примерно четверти европейцев. Очередная вспышка чумы в Милане, происшедшая в 1485 г., погубила 50 тыс. человек. Леонардо работал инженером при дворе Сфорца и, по-видимому, под впечатлением этой трагедии разработал проект чистого и удобного трёхуровневого города. На **Рис.66-а**, Ms. B 16 r показан один из его чертежей проекта, а на **Рис.66-б** макет предполагаемой застройки, выполненный в соответствии с его рисунками и записями (макет демонстрируется в Галерее Леонардо да Винчи Миланского музея Науки и Техники). Леонардо предлагал в верхней, жилой зоне строить красивые светлые здания на достаточно большом расстоянии одно от другого, с просторными площадями между ними, бассейнами, садами, и дорожками лишь для пешеходов. Ниже планировалось сооружать каналы и широкие дороги для гужевого транспорта. В пояснениях к проекту, в частности, говорится:

«Дороги m на 6 локтей /старая Итальянская мера длины braccio-локоть равнялась около 0.6 м– М.М./ *выше, чем дороги ps, и каждая должна быть шириной 12 локтей и иметь наклон в пол-локтя от краёв к середине. И в центре должны быть отверстия для стока дождевой воды. Дороги верхнего уровня должны использоваться только для прогулок. Перевозка грузов для нужд и удобства жителей производится лишь по нижним улицам. Дома должны быть обращены друг к другу спиной, причём между ними проходят дороги нижнего уровня. У каждой арки должна быть спиральная лестница... Место для города должно быть выбрано недалеко от моря или большой реки, для того чтобы уносить все отходы водой».* Ms. B 16 r.

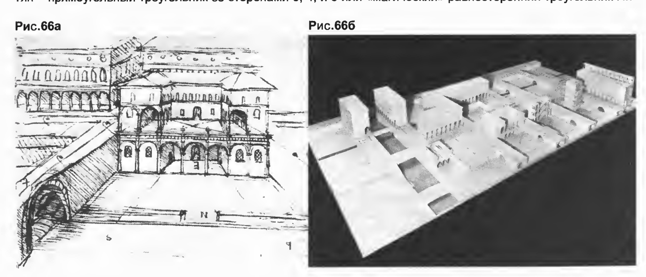
«И нельзя ничего бросать в каналы, и каждая баржа должна увозить грязь из канала и выбрасывать её затем на берег». C.A. 65 v-b

Была разработана даже трёхуровневая конюшня [Ms B 39 r] с подачей корма с верхнего этажа и стоком нечистот под полом.

В публикациях о Леонардо его проект называют «идеальным городом», что не совсем верно, поскольку слово *идеальный* несёт оттенок неосуществимости. Как отмечено в [114], Леонардо предлагал данный проект Лодовико Сфорца для постройки возле Милана чистых городков-спутников примерно на 30.000 жителей каждый, что даже по тогдашним возможностям было вполне реально, тем более что речь ведь шла о снижении до минимума опасности гибели от «чёрной смерти», которая наравне с простыми горожанами поражала и властителей.

Поиск красоты и внутреннего порядка был всегда, начиная с зарождения интеллектуальной деятельности, действенным инструментом науки. Вспомните прекрасное математическое открытие древних египтян – прямоугольный треугольник со сторонами 3, 4, и 5 или «магический» равносторонний треугольник Пи-

Рис.66а **Рис.66б**



фагора с 1, 2, 3 и 4 точками в последовательных рядах (симметрия! и суммой, равной магическому числу 10!). Магия чисел была философско-религиозной доктриной Пифагорейцев. Пифагору приписывается решение в общем виде изящной задачи «найти два целых числа, сумма квадратов которых была бы тоже квадратом целого числа»:

$\mathbf{m^2 + \{1/2\,(m^2 - 1)\}^2 = \{1/2\,(m^2 + 1)\}^2}$, где **m** - любое нечётное число.

Пифагор обнаружил также простые арифметические соотношения между высотой звуков и длиной струн при одинаковом натяжении.

Великий английский физик Джеймс Максвелл (1831-1879) записал в 1873 г. систему уравнений для электрического и магнитного полей в стационарных условиях. Полагаю, что даже неспециалист с первого взгляда почувствует красоту этой системы, одного из высших достижений в истории науки. Уважаемые читатели без университетского образования! Пожалуйста, не пугайтесь незнакомых символов и взгляните на эти уравнения как на всемирно признанный шедевр.

$$1.\ \oint E dl = -\, d/dt \int B dS$$

$$2.\ \oint E dS = 1/\varepsilon\varepsilon_o \sum Q$$

$$3.\ \oint B dl = \mu\mu_o(I + \varepsilon\varepsilon_o\, d/dt \oint E dS)$$

$$4.\ \oint B dS = 0$$

Поиск красоты и внутреннего порядка сыграл определяющую роль в этой работе. К середине XIX века было установлено, что переменное магнитное поле **B** создаёт в замкнутом контуре электрическое поле **E** (уравнение **1**). Но существование магнитного поля связывалось лишь с электрическими токами **I** (уравнение **3** без правой, подчёркнутой части). Джеймс Максвелл **почувствовал**, что переменное электрическое поле должно, из соображений **симметрии**, генерировать магнитное поле. Он исследовал переходный процесс разряда конденсатора и добавил в уравнение 3 ещё один член, который назвал **«током смещения»**. Система уравнений Максвелла позволила **предсказать** формирование электромагнитной волны и **вычислить** скорость её распространение в вакууме, которая оказалась равной 300.000 км/с. Вычисленная теоретически величина скорости распространения электромагнитной волны оказалась равной скорости света, и Максвелл заключил, что это не простое совпадение, а что **свет имеет электромагнитную природу!**

1.8.2. Познаваемость законов природы

Леонардо был глубоко убеждён в существовании фундаментальных законов (или как он называл их *«причин», «необходимости»*), управляющих всеми процессами в природе:

«Природа не нарушает свои законы; Природа ограничена логической необходимостью своих законов, которые ей свойственны». W. 19092

«О чудесная, О изумительная необходимость, ты своим высшим разумом заставляешь все эффекты быть результатом их причин; и по высшему и неотменяемому закону вынуждаешь каждое действие протекать посредством возможного наикратчайшего процесса». C.A. 345 v

Процессы в природе и их причины могут быть изучены и поняты:

«Природа причин становится ясной из их эффектов, и природа эффектов становится ясной из их причин». Windsor 82 v

И на этом основании *«естественное желание познавать»* становится для Леонардо руководящим центром его системы ценностей, его убеждений. Он был ярчайшим носителем воодушевляющего духа Ренессанса с его верой в высшее предназначение и неограниченные возможности Человека, что рассматривалось как крамола и богохульство в мрачные времена средневековья. Изучение Природы было для Леонардо *«средством познания Творца столь многих замечательных творений, способом проявления любви к их великому Изобретателю»*. Т.Р. 77

Никогда прежде и очень редко в последующие времена могла быть высказана оценка божественного качества творений Художника (и я бы добавил - Учёного):

«Художник является Властелином любых людей и вещей. Если художник пожелает увидеть очаровательных красавиц, в его власти запечатлеть их на картинах; а если он пожелает увидеть уродов, которые безобразны, смешны, нелепы или жалки, он может быть их Господином и Богом; если он захочет создать непригодные для жизни пустыни, мрачные убежища или тёплые места в холодную погоду, он может сделать это». Т.Р. 13

Во время подготовки рукописи к печати я узнал, что умер мой хороший знакомый Михаил Иосифович Рижский, очень интересный и контактный человек, историк, философ, с которым мы жили в одном доме в Новосибирском Академгородке. В моей библиотеке хранится подаренная им «Книга Иова. Из истории библейского текста» (Новосибирск, «Наука», 1991), главный труд его жизни. «Книга Иова», одна из книг Ветхого завета, была написана, как считается, две с половиной тысячи лет назад неординарным философом–поэтом. Это не только и столько религиозный текст, сколько памятник древнего свободомыслия. Внимательно перечитывая книгу Михаила Иосифовича, я был потрясён, прочитав поставленную автором библейского текста физическую проблему (глава 38, стихи 25-29 в переводе М.И. Рижского):

«Кто провёл протоки для ливня,
И путь для грозовой тучи,
Чтобы шёл дождь на безлюдную землю,
На пустыню, где нет человека,
Чтобы насытить пустыню и степь,
И чтобы (из иссохшей земли) взрастить зелень?
(Скажи), есть ли у дождя отец,
Или кто рождает капли росы?
Из чьего чрева вышел лёд,
И иней небесный – кто его родил?»

Леонардо да Винчи неоднократно возвращался к изучению процессов, определяющих образование облаков (см. раздел 2.2.4 в главе 2.2 и задачи-леонардески № 46 и 57). Эта проблема так органически вписывалась в несколько разделов его исследований, что у меня и сомнения не возникало, что поставлена она самим Леонардо. Но почти текстуальное совпадение цитированного отрывка из Книги Иова и записи Леонардо из Ms. F 35r (приведена в разделе 1.2.1. Наблюдать ≠ видеть), показывают, что проблема была сформулирована за 2000 лет до Леонардо. Формулировка проблемы в Книге Иова позволяет увидеть исток её происхождения – жизненную важность выяснения сути данного явления для самого существования человека в условиях засушливого климата. Результаты исследований Леонардо вполне согласуются с современными представлениями молекулярной физики, а сам факт древней постановки данной проблемы лишь подчёркивает весомость достижения великого Флорентинца.

1.8.3. Цель жизни. Volonta

Железо ржавеет, не находя себе применения, стоячая вода гниёт, либо замерзает на холоде, а ум человека, не находя себе применения, чахнет.

Леонардо да Винчи

В 1482 году, в тридцатилетнем возрасте, Леонардо да Винчи приехал в Милан на службу к герцогу Лодовико Моро. Во всех документах, начиная с этого времени, его называют сначала инженером и лишь затем

художником. И, действительно, его творчество становится всё более направленным на науку и инженерные проблемы. *«Естественное желание хорошего человека добывать знания»* трансформировалось в его душе в предельно сильный стимул – любовь к научному исследованию:

«Так же как еда против желания вредна для здоровья, так и занятия наукой без желания портят память и ничего в ней не оставляют». B.N. 2038, 1b

«Воистину, великая любовь рождает великое знание того, что любишь: и если ты не знаешь этого, ты не можешь его любить, или можешь любить лишь немного. А если ты любишь науку, поскольку рассчитываешь что-то получить от неё, ты поступаешь подобно собаке, которая машет хвостом и выслуживается перед тем, кто может дать ей кость». T.P.77

Для того чтобы выполнить поставленную задачу активной работы в науке, он должным образом организовал свой стиль жизни: отсутствие семьи (к сожалению, это условие не является достаточным, иначе число гениев было бы огромным); ограниченное число друзей (*«если ты один – ты принадлежишь себе полностью; если тебя сопровождает хотя бы один компаньон, ты принадлежишь себе лишь наполовину...».* B.N. 2038 27v.); феноменальная работоспособность (*«препятствия не могут согнуть меня; любое препятствие вызывает усилие»* BN 27v.). Читая факсимильные издания манускриптов Леонардо, получаешь потрясающее впечатление от его глубокого интеллекта и рутинной систематической работы – страница за страницей исписаны каллиграфическим почерком без помарок, текст насыщен рисунками с комментариями и без, ясно прослеживается течение мысли, постоянно возвращающейся к некоторым ключевым проблемам.

Леонардо жил при дворе, обладал поразительной силой и красотой, и, конечно же, там было более чем достаточно соблазнов, отвлекающих от работы. Но он заставлял себя *работать регулярно, работать упорно* над изучаемыми проблемами. Можно почувствовать резко отрицательное отношение Леонардо к пустому времяпровождению, изучая наброски составлявшегося им научного словаря Итальянского языка – около 10.000 слов в Кодексе Тривульциано. На одной из страниц Кодекса, где представлены слова для описания научных проблем, он взорвался и записал в колонку синонимы слова **лень** и нескольких других неприятных ему человеческих качеств:

inertia – лень, пассивность, неподвиженость
piegritia - податливость, уступчивость
negligienza - небреженость, неаккуратность
n<e>glettoso - ленивый, небрежный
infingardo - ленивый, неаккуратный, потрёпанный
acidioso - лень, меланхолия Tr. 62

И там же, в Кодексе Тривульциано, Леонардо да Винчи несколько раз возвращался к слову *volonta – воля, желание*. Обратите внимание на слова, записанные рядом с *volonta*. Их близкое соседство отражает как его эмоциональный настрой во время работы (зачастую бессонными ночами), так и систему ценностей Леонардо – великого труженика.

voluntaria – добровольность
volonta – воля, желание
mente – разум
intelletto – интеллект
dolcitudine - блаженство
Tr. 36

volonta - воля, желание
memoria - память
Tr. 67

volonta - воля, желание
elecione - выбор
elegiere - выбирать
liberta - свобода
dolcitudine - блаженство
Tr. 89

Как это прекрасно звучит: *желание* заниматься наукой, и рядом с ним слова *выбор, свобода* и *блаженство*! В русском языке имеется грубоватая, но правильная по существу поговорка: *«у хорошего учёного должна быть золотая голова и свинцовый зад»*. Важно не только знать хорошие поговорки – проявления народной мудрости, но и следовать их рекомендациям.

И последним по порядку в этом разделе, но не по значению, пунктом в системе ценностей Леонардо – учёного было то, что, посвятив свою жизнь такой великой цели – изучению Законов Природы, он оставит след в памяти благодарного человечества (да, он думал и об этом!):

«Было бы приятно сознавать, что наши дни не растрачены попусту, не оставив следа в памяти людей». C.A. 12 v.a.

«Почему бы не работать так, чтобы после смерти ты стал воплощением бессмертия»? C.A.76 v.a.

Леонардо понимал, что современники едва ли оценят его научные работы, но это не останавливало его. Научные достижения Леонардо да Винчи и его изобретения не канули в Лету, и он навсегда останется в истории человечества наивысшим универсальным гением, ярчайшим примером реализованных неограниченных творческих способностей.

II. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМ

Разум в том, чтобы знать, о чём стоит думать.
Л.Н. Толстой

В любом явлении имеется неисчислимое количество причин, одни из которых являются очень важными, другие можно считать причинами второго порядка важности. Поэтому выделение наиболее важных сторон явления, о которых *стоит думать*, чтобы не терять время впустую, является первоочередным и наиболее ответственным шагом к решению любой проблемы. Говорят, что *проблема сформулированная является уже наполовину решённой*. Альберт Эйнштейн оценивал значение этого этапа подхода к решению задач даже ещё более высоко: *«Формулировка проблемы часто важнее, чем решение»*. Очевидно, этим он хотел подчеркнуть, что решение чётко сформулированной важной проблемы может со временем уточняться и корректироваться.

2.1. Независимость

В настоящее время число научных работников в мире настолько велико, что любая проблема, которая может быть решена стандартными теоретическими либо экспериментальными методами, исследуется, как правило, одновременно в нескольких центрах. Поэтому лишь независимость, оригинальность в подходе к явлению, наличие новых элементов в теории и новых экспериментальных методик могут обеспечить получение существенно новых научных результатов.

«Тот, кто в дискуссии ссылается на авторитеты, пользуется не своим пониманием предмета, а скорее памятью. Хорошее сочинение рождается из хорошего понимания природы, и, поскольку причина должна почитаться выше, чем следствие, хорошее понимание природы без книжного знания должно иметь предпочтение перед книжным знанием без хорошего понимания». C.A.75a

Какая твёрдая и чёткая декларация против формального, «книжного» подхода к проблемам! Леонардо стремился к *хорошему пониманию* природы изучаемого явления, и достигал этого самостоятельно на основе собственных наблюдений, экспериментов и анализа. Было бы неверно приписывать ему в связи с этим высказыванием негативное в принципе отношение к книжному знанию. Обычно он пытался найти как можно больше информации об интересующей его проблеме из книг и от специалистов (см. раздел 1.1).

Независимость постановок проблем в научных исследованиях Леонардо и технических разработках ясно видна из краткого обзора его работ, представленного в первой части книги. Обращаю особое внимание читателей на разделы Н-5. Космология и Н-8. Техника, где его работы анализировались именно с точки зрения новизны постановок и решений. Даже в проектах, постановка которых исходила от ясно прослеживаемых предшественников, острый ум Леонардо да Винчи находил принципиально новые решения, вполне удовлетворяющие жёстким современным требованиям патентования. Вот лишь два наглядных примера: предложение изготовить гигантский лук из слоёв с различными механическими характеристиками для повышения гибкости и прочности (лет десять назад та же концепция была использована при усовершенствовании горных лыж) и изобретение подшипника с обоймой во избежание взаимного торможения шариков при контакте. Особенно удивительно-поразительно-шокирующе (не могу найти подходящего слова) обнаруживать у Леонардо да Винчи записи, свидетельствующие о том, что он мог почувствовать важность некоторых фундаментальных проблем и чётко их сформулировать в то время, когда никаких оснований, предпосылок для появления соответствующих идей вроде бы ещё не существовало. Такова формулировка Принципа Невозможности Вечного Двигателя в то время, когда отсутствовало ещё само понятие энергии; таков чётко сформулированный вопрос о том, почему Луна не падает на Землю; таковы постановки вопросов о природе голубого цвета неба, о биологических причинах старения.

Взгляните с позиций современного знания также на следующие весьма непростые научные проблемы, поставленные Леонардо:

- *«Каким образом линии или световые лучи проходят лишь сквозь прозрачные тела?* /Поразительно, но этот вопрос через 500 лет был напечатан моим 6-летним внуком Антоном под номером 1 в списке почемучечных вопросов – видимо, есть в этом что-то завораживающе привлекающее./ *Каким образом линии удара проходят сквозь всякую стену? Каким образом линии магнита проходят сквозь стену»?* (цитируется по 6, стр.106). Похоже, здесь Леонардо да Винчи усмотрел аналогию между столь разными на первый взгляд явлениями.

- *«Проверь, притягивает ли горячее железо железные опилки»*. Ms. F 10 v. Постановка вопроса о влиянии температуры на магнитные свойства железа (точка Кюри) за 400 лет до докторской диссертации Пьера Кюри, посвящённой изучению магнитных свойств веществ!

Задачи – Леонардески

63. Найдите в литературе информацию о магнитных свойствах веществ и, в частности, о природе, точки Кюри в ферромагнетиках.

64. Проверьте с помощью магнитной стрелки ориентацию магнитных полюсов в массивных литых железных или стальных изделиях в Вашем доме или вне его (батареи отопления, литые ограды и пр.) и объясните, как и почему мог возникнуть обнаруженный Вами эффект.

65. *«Когда воздух, заключённый в воде, достигает её поверхности, он немедленно принимает форму полусферы, и покрыта она очень тонкой, цепкой и живучей плёнкой воды»* Hammer 12 B-25 r

а) Исследуйте это явление экспериментально с использованием явления интерференции на тонких плёнках. Ответьте на следующие вопросы:

- какие параметры определяют время жизни пузырей?
- чем определяется толщина плёнки?
- какие изменения будут наблюдаться в случае мыльного раствора? в случае тонкого слоя масла на поверхности воды? в случае толстого слоя масла?
- как время жизни пузырей зависит от температуры?

б) Капли дождя образуют иногда на поверхности луж поразительно большие и долго живущие пузыри. Почему так происходит?

Эпиграфом к этой главе взято высказывание Льва Николаевича Толстого. Очень полезно читать записные книжки умных людей. Вот записи, непосредственно относящиеся к вопросу о независимости учёного в постановке проблем, которые я нашёл в книге «Круг Чтения» Л.Н.Толстого (на 9 января, из подборки высказываний писателей о Знании):

«Меньше читайте, меньше учитесь, больше думайте. Учитесь у учителей и в книгах только тому, что Вам нужно и хочется знать».

«Вредно даже читать о предмете прежде, чем сам не пораздумал о нём».

Полагаю, читатели не будут бездумно цитировать эти мысли Л.Н.Толстого школьникам.

2.2. Суть явления

Когда Вы очень хотите понять некоторое явление, то стремитесь «копать как можно глубже», пытаясь находить ответы на возникающие вопросы ***что происходит?, как?, почему?***, стремитесь понять суть явления, законы, или, как говорил Леонардо, *«причины»*, им управляющие.

Леонардо да Винчи поясняет существо этой важнейшей особенности его научного метода на наглядном примере:

«Мысленное рассуждение, которое исходит из первых принципов, называется наукой. Нельзя найти в природе ничего такого, что не было бы частью науки. Так, скажем, любые тела обладают объёмом и описываются геометрией, которая начинается с поверхностей тел и имеет своё происхождение из линий, границ поверхностей. Но мы не ограничиваемся этим, поскольку знаем, что суть линии заключается в точке, и нет ничего менее точки. Потому точка является первым принципом геометрии, и нет ничего другого в природе или в человеческом разуме, что уходило бы глубже (понятия) точки...». T.P. 1 r-v

Таким образом, он указывает здесь на последовательные ступени подхода к понятиям, которые должны быть аккуратно проанализированы для понимания геометрии: непрерывная величина (объём) $\Rightarrow$ поверхность $\Rightarrow$ линия $\Rightarrow$ точка, и определяет точку как первооснову геометрии.

Леонардо да Винчи обладал способностью находить важные проблемы, которые стоило изучать, и именно стремление понять суть проблемы приводило его к получению крупных фундаментальных результатов в различных областях. Давайте рассмотрим с этих позиций некоторые яркие примеры из его достижений.

1. Принцип Невозможности Вечного Двигателя. Леонардо да Винчи, учёный и инженер, который столь успешно решал любые проблемы, около 7 лет пытался создать вечный двигатель и тем самым принести огромную пользу человечеству. В ходе многолетних исследований Леонардо предложил несколько новых конструкций вечного двигателя с явной несимметрией распределения нагрузки, но все его попытки оказались безуспешными. Тогда он остановился и спросил себя: «ПОЧЕМУ эти, столь обнадёживающе выглядящие машины не работают?». Ответ был найден в результате внимательного анализа колеса с малым числом элементов (**см. Рис. 5**). Следует напомнить, что физические понятия работы и энергии начали использоваться в науке лишь в XIX веке. Тем не менее, Леонардо смог показать в рассмотренных схемах отсутствие стимула к вечному движению, сведя проблему динамики к более простой для анализа задаче статики (см. параграф Н-2.1).

2. Неприятие Библейского Потопа. Мы рассматривали ранее, в разделе Н-6.3, как Леонардо пришёл к выводу о том, что Библейский Потоп не мог быть всеобщим. Его аргументация столь логична и убедительна, что я цитирую слова Леонардо ещё раз, выделяя ключевые положения жирным шрифтом:

«Возникает следующее сомнение: Был ли Потоп во время Ноя всеобщим или нет. По-видимому, нет, и причины следующие: в Библии говорится, что Потоп представлял собой 40 дней и ночей непрерывного и всеобщего дождя, и что вода поднялась на десять локтей выше самой высокой горы в мире. Но, если бы это было

так, то вода образовала бы сферу, покрывающую земной шар целиком. Эта сферическая поверхность в каждой своей части отстояла бы на равное расстояние от центра сферы, и в таком состоянии вода на поверхности не могла бы двигаться, поскольку вода может двигаться, лишь опускаясь. И как вода после такого Потопа могла сойти, если не было движущей силы? И если она уходила, он могла двигаться только вверх. Следовательно, мы не видим естественных причин и должны либо согласиться, что это было чудо, либо допустить, что вся вода испарилась за счёт солнечного тепла». С.А. 155г

3. Почему небо голубое? Несомненно, Леонардо был не первым человеком, у которого возник этот вопрос. Но в поиске разумного объяснения Леонардо да Винчи пошёл много дальше других и сделал два очень важных шага. На основе своих наблюдений и их обсуждения, Леонардо пришёл к выводу, что **голубой цвет атмосферы не является её собственным цветом**, поскольку он является более интенсивным в вертикальном направлении, чем в горизонтальном, где толщина атмосферы гораздо больше. Но в таком случае голубой цвет может возникнуть лишь в результате **взаимодействия солнечных лучей с некоторыми «очень маленькими, невидимыми частицами» в атмосфере**, и Леонардо предположил, что это мельчайшие частицы воды. Лишь 400 лет спустя, 1904 году, польский физик Марианн Смолуховский уточнил, что свет рассеивается в чистом воздухе на флуктуациях плотности (см. более подробный анализ в главе V. Ошибки Леонардо, параграф 4.2а).

4. «Опиши, КАК облака образуются и КАК они растворяются». Ms. F 35 r. Эти процессы относятся в современной физике к классу явлений фазовых переходов. Квалифицированный ответ учёного на эти вопросы опирался бы на следующие экспериментальные данные и представления о процессах, которые были поняты лишь в конце XIX века, а именно:

- молекулярно-кинетическая теория;
- объяснение, почему молекулы воды поднимаются в атмосфере (молекулярная масса воды - 18 меньше средней молекулярной массы воздуха - 29);
- что такое «точка росы» (температура, при которой концентрация пара в воздухе становится насыщающей);
- падение температуры с высотой.

Давайте послушаем теперь объяснение Леонардо да Винчи, данное 500 лет назад:

«... пар увлекается теплом и поднимается в холодную область воздуха... пар, который собирается в холодной области, будучи покинут теплом, которое привело его туда, сжимается; и воздух, который удерживал его раньше, не может уже оказывать сопротивление.... Отсюда он начинает падать в виде облаков, и, достигая тепла, исходящего от нагретой солнцем земли, он растворяется в воздухе, увеличивается в объёме, и это создаёт ветер». Windsor 12671 r.

«И поскольку туман, который переносится ветром, не может подниматься вверх, потому что холод прижимает его, и не может опускаться вниз, потому что тепло поднимает его, он движется в поперечном направлении, и я считаю, что он не может двигаться сам по себе». С.А. 169 r.a.

5. Птицы тяжелее воздуха. ПОЧЕМУ они могут летать? Наблюдая и анализируя полёт птиц, Леонардо да Винчи впервые открыл несколько законов механики (см. параграфы Н-3.5 Полёт и Н-2.3 Основные законы механики).

6. Техника. Изобретения. Полагаю, что вдумчивому читателю будет интересно и полезно самостоятельно проанализировать некоторые достижения Леонардо в технике (глава Н-8) с точки зрения его попыток найти оптимальные решения проблем, то есть решения, наилучшим образом удовлетворяющие предъявляемым требованиям. На самом деле, поиск оптимального решения проблемы возможен лишь при понимании сущности протекающих процессов, и реализуется посредством нахождения обоснованных ответов на ряд вопросов ПОЧЕМУ? и КАК?

Ограничимся здесь лишь рассмотрением его подхода к решению двух важных научно-технических проблем: анализ нагрузки, которую может выдержать винт, и изобретение подшипника. Винт – один из «простых механизмов», хорошо известных с древности. КАК он работает? КАК сконструировать строго обоснованный винт (тип, материал, диаметр, высота и ход резьбы), чтобы он выдерживал заданную нагрузку? Леонардо да Винчи нашёл, что для анализа силы, которая требуется для подъёма с помощью винта заданного груза, винт может быть посредством мысленной развёртки представлен в виде наклонной плоскости, **Рис.73**. Затем он обобщил этот результат для расчёта других простых механизмов (см. параграф 3.3.5. Измерения).

Изобретение подшипника представляет собой другой яркий пример того, как понимание сути процесса приводит к нахождению оптимального решения. Ещё древние греки применяли шары и цилиндры для уменьшения трения при перемещении тяжёлых грузов. Но Леонардо заметил, что, если *«шары или цилиндры при движении соприкасаются, они делают перемещение груза более трудным, чем в отсутствии контакта между ними»*, (скорости шаров направлены в точке соприкосновения в противоположные стороны, и потому они тормозят друг друга). Как устранить этот нежелательный эффект? В поиске решения проблемы Леонардо поместил шары в специальную обойму и изобрёл на основе этой идеи несколько типов подшипников (см. параграф 6.1. Трение).

7. Анатомия. Физиология. Леонардо да Винчи начал изучать строение человеческого тела как художник. Но вскоре перешёл от аккуратного изображения кожи и лежащих под ней мышц к детальному изучению мускулов, пытаясь ответить на вопрос «КАК работают мышцы?». От аккуратного изображения поз человека перешёл к анализу механики устойчивости и динамики тела. Проводя вскрытие столетнего старика, он искал ответ на вопрос «КАКОВЫ причины старения?», отметил и впервые подчеркнул роль изменений в стенках сосудов (атеросклероз).

Интересно отметить в связи с обсуждаемым вопросом о необходимости в ходе исследования стремиться понять суть явления, что иногда великие учёные формулировали в предельно чёткой форме проблемы, которые они сами не смогли решить, но считали очень важными и обращали на них внимание последователей. Физики могут оценить глубину предвидения **Исаака Ньютона**, который сформулировал в своей «Оптике», изданной в 1730 году, целый ряд проблем фундаментального значения (ниже цитируются лишь некоторые из них):

«Я хочу предложить в заключение несколько ВОПРОСОВ, для того чтобы другие искали на них ответ.

Вопрос 1. Не действуют ли массы на свет на расстоянии, и не изгибают ли они лучи проходящего света; и не возрастает ли такое действие при уменьшении расстояния?

Вопрос 5. Не действуют ли массы и свет взаимно друг на друга; то есть тела на свет при его излучении, отражении, преломлении и отклонении, и свет на тела посредством нагревании их и приведения их частей в колебательное движении, в чём и состоит тепло?

Вопрос 28. (Длинное обсуждение проблемы двойного лучепреломления в кристаллах исландского шпата).

Вопрос 30. Почему природа не может превращать массы в свет, а свет в массы»?

Предположение Ньютона, что лучи света при прохождении мимо больших масс могут отклоняться (Вопрос 1) было объяснено позднее Альбертом Эйнштейном в общей теории относительности. Существование такого эффекта с отклонением в 1.7" для лучей от звезды, проходящих недалеко от солнца, было подтверждено при наблюдении солнечного затмения в 1919 году. Превращения массы в свет и наоборот (Вопрос 30) подтверждается при исследовании ядерных процессов.

Задачи –Леонардески

66. Оцените время варки картошки до готовности.

Подсказка – совет: для решения этой проблемы на хорошем научном уровне Вы должны

а) выбрать метод испытаний (механический, химический или физический) для оценки состоянии готовности картошки;

б) провести аккуратные измерения;

в) представить полученные экспериментальные зависимости на графике;

г) записать и решить уравнение теплопроводности;

д) если Вы получите расхождение между Вашими экспериментальными результатами и расчётом, попробуйте найти причину расхождения. Может быть существуют некие дополнительные, непредвиденные априори эффекты? Может быть, исследование на очень тонких срезах картошки подскажет Вам путь к более глубокому понимания процесса.

67. Наши контакты с окружающей средой осуществляются посредством органов чувств – зрения, слуха, обоняния, вкуса и осязания. Леонардо неоднократно возвращался к проблемам органов чувств (см. раздел Н-9. Что такое человек?). Каковы современные представления о наиболее существенных особенностях соответствующих процессов? Проведите поиск в литературе (советую для начала просмотреть подшивки журнала «В Мире Науки» – "Scientific American"), поставьте проверочные эксперименты, попробуйте уточнить принятые модели.

а) Зрение:

- Почему существует немонотонная зависимость чувствительности глаза к свету в различных областях спектра? А как обстоит дело у других животных, у растений?
- Найдите данные о чувствительности глаза к амплитуде сигнала. Исследуйте, на каком расстоянии Вы ещё можете увидеть слабый источник света, и оцените число квантов света, попадающих в глаз за одну секунду. Каковы принципы работы, устройство, технические характеристики приборов ночного видения?
- Измерьте наилучшее расстояние видения (чтение нормального текста) для Ваших глаз. Если соответствующие величины 15 или 45 см, какие очки Вы прописали бы пациенту?

б) Слух:

- Каковы анатомические особенности, ответственные за различие в чувствительности органов слуха у человека, собаки, кита, кузнечика, вороны?
- Какие принципы Вы использовали бы при разработке слухового аппарата?

в) Обоняние:

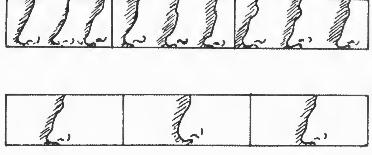
- Каковы физиологические механизмы этого органа чувств у человека и различных животных?
- Какие принципы Вы заложили бы при конструировании чувствительных элементов приборов системы противопожарной безопасности?

2.3. Систематичность

Предлагая это несколько необычное для русского языка понятие, я имею в виду специфическую характеристику творческого ума, состоящую в стремлении систематизировать в мозгу объекты, наблюдения и пр. в соответствии с некоторой выбранной системой. Такое аккуратное раскладывание собранной информации «по полочкам» позволяет с одного взгляда оценивать степень полноты материала, замечать наличие противоречий и выделять «проблемы, которые стоят размышлений». Систематичность Леонардо да Винчи при проведении исследований была естественным продолжением его подхода к изучаемому **явлению в целом** (см. раздел 1.4 в предыдущей главе).

Возможно, систематичность Леонардо в проведении научных исследований проистекала из его научного подхода к живописи. «Трактат о Живописи» Леонардо да Винчи, состоящий из 8 глав, 935 (!) записей, построен в основном по принципу подробного подразделения различных явлений и эффектов в соответствии с их характерными особенностями. Вот один из наглядных примеров – его совет, как надо учиться рисовать лица (цитата несколько длинновата, но систематика весьма поучительна):

«Если ты хочешь научиться удерживать в памяти выражение лица, заучи сначала на память различные типы голов, глаз, носов, ртов, щёк, шей и плеч. Возьмём для примера носы **/Рис. 67/**: *они бывают десяти типов:*


Рис.67

прямые, с горбинкой, с впадиной, с выпуклостью выше или ниже середины, орлиные, ровные, курносые, приплюснутые, закруглённые и заострённые. Это с профиля. Спереди носы бывают двенадцати типов: с утолщением или узкие в середине, с широким или узким концом, с широким или узким основанием, с ноздрями широкими или узкими, высокими или низкими, с проходом открытым или скрытым кончиком носа. И подобным образом ты найдёшь разнообразие в других чертах, которые ты должен рисовать с натуры и запоминать. Или, когда ты должен рисовать лицо по памяти, носи с собой маленькую записную книжку, в которой отмечай эти особенности.... Об уродливых лицах я здесь ничего не говорю, так как они удерживаются в памяти без труда», B.N. 2038, 26v.

Похожие принципы описания лица используются в современной криминалистике, и, по-видимому, даже не со столь подробной деталировкой как у Леонардо. Интересно, что в серии рисунков так называемых «гротескных», уродливых лиц [Windsor 12490; 12495] Леонардо – художник-исследователь представил на самом деле не карикатуры, а скорее вымышленные предельные случаи различных характерных параметров человеческого лица.

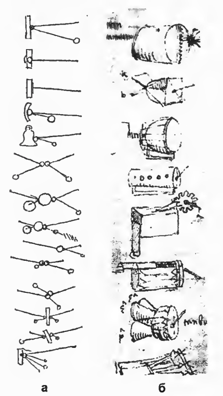


Рис.68

Рис.68 - а, б представляют два ярких примера, подтверждающих, что систематичность является важнейшей особенностью Метода Леонардо. На **Рис.68-а** показан набор процессов, где проявляются различные эффекты удара. Да ведь на одном этом рисунке (с наглядными демонстрационными экспериментами) можно полно, красиво и доходчиво изложить важный раздел механики! **Рис.68-б** показан набор из 8 различных конструкций барабанов, сконструированных Леонардо да Винчи. Шокирующую идею барабана, производящего аккорд из трёх нот (второй снизу рисунок), несомненно, следует реализовать. Просьба к тому, кто когда-нибудь реализует это предложение - не забудьте сослаться на первоисточник!

Известно, что стремление к совершенству явилось причиной задержки, а зачастую даже и незавершённости многих картин Леонардо да Винчи. В публикациях некоторых искусствоведов и историков науки это неоднократно отмечалось как свидетельство присущей ему внутренней несобранности и бессистемности. Работы Леонардо в науке и технике убедительно отвергают такое мнение. Его способность видеть многие стороны и уровни явления или процесса были особенно важны в планировании и решении сложных научно-технических проблем. Так, его многолетняя работа над проблемой полёта включает целый ряд пионерских исследований, выполненных на поразительно высоком уровне:

- глубокое проникновение в понимание механики полёта живых организмов: птиц, летучих мышей, насекомых (сотни наблюдений с детальным анализом);
- сравнительная анатомия птиц и человека;
- измерение силы, производимой различными мышцами;
- конструирование различных летательных аппаратов как с мускульным движителем, так и без него;
- исследование различных материалов (дерево, длинные прочные волокна, полотно, бумага, стальные пружины) и технологий (полосы из кожи, нити, клей) для создания лёгких и прочных аппаратов;

- изобретение эффективного устройства для поглощения энергии при приземлении летательного аппарата (см. раздел 6.1. Трение).

Каждая из этих работ подразделялась на большое число специальных направлений исследований.

Очевидно, если внимательно посмотреть, обнаружится, что систематичность в большей или меньшей степени присуща каждому успешно работающему учёному. Ведь без такой характеристики ума мало вероятно выполнение исследования на глубоком, логически обоснованном уровне и тем более выход на оригинальные теоретические и экспериментальные постановки. Взгляните с этой точки зрения на первые пришедшие мне на ум яркие примеры из истории науки: аксиомы Эвклида в математике; законы Ньютона в физике; Периодический Закон Менделеева в химии; построение генетического кода человека и восстановление на его основе последовательных этапов развития цивилизаций. Систематичность является весьма полезным качеством ума не только для учёного и инженера. Несомненно, врач, юрист, агроном придут к обоснованному решению сложной нестандартной проблемы скорее и на более высоком уровне, когда их знания и умения хорошо организованы.

Лишь отчасти такие навыки закладываются в ходе обучения. В принципе, любой курс, преподаваемый в школе и университете, построен в соответствии с некоторой системой. К сожалению, тенденция впихивать в школьные курсы всё более возрастающий объём голой информации мало что оставляет от столь важного для прочного усвоения материала ощущения стройности здания науки, взаимосвязанности образующих её элементов. Возможно ли целенаправленное развитие систематичности в процессе обучения? Конечно, да. В качестве примера могу указать на курс «Система базисных задач в школьном курсе физики», который я разработал и вёл в Новосибирском Институте Усовершенствования Учителей в 1980-е годы. Основной задачей при построении курса было подобрать минимальное количество принципиально отличных задач, которыми можно было бы покрыть всё поле проблем в заданной теме. Такой систематизированный курс оказался очень полезным для упорядочения знаний учителей, студентов, и школьников при подготовке к Олимпиадам. Если успею, подготовлю к печати это пособие после завершения работы над книгой о Научном Методе Леонардо.

<u>Задача – Леонардеска</u>

68. Леонардо предложил художникам простой количественной метод для плавного перехода от чисто чёрного цвета к чисто белому: добавить к некоторому объёму чёрной краски одну ложечку белой краски – первая ступень перехода; две ложечки – вторая ступень; и т.д. Используйте эту идею для раскрашивания широкого кольца секторами от голубого к жёлтому цвету, используя технику Сёра. Первый сектор должен быть чистого голубого цвета. Затем следует постепенно уменьшать количество синих точек и увеличивать количество жёлтых. Получится, по-видимому, очень красиво.

2.4. Приложения

Ориентация на практические приложения была всегда мощным стимулом для научных исследований. Так называемые «чистые» теоретические исследования даже сегодня составляют очень малую долю научных публикаций. Прикладные исследования в научном творчестве Леонардо да Винчи можно разделить на две группы. Первую, бóльшую, группу составляют научно-технические проблемы, имевших особую важность в специфических условиях Италии того периода. Быстро растущим мануфактурам были необходимы новые материалы и технологии, дешёвые и эффективные источники энергии вместо древнего водяного колеса; растущая торговля нуждалась в улучшении транспортных средств, способствовала открытию новых морских путей к источникам пряностей, шёлка и других ценностей; образование и усиление государств, непрекращающиеся войны благоприятствовали развитию новых видов оружия. Этот источник проблем ясно виден в списке достижений Леонардо.

Его стремление понять суть изучаемых процессов приводило, как правило, в начале работы над любой проблемой к более или менее глубокому предварительному исследованию наиболее существенных связей, соотношений, обеспечивающих в последующем успешное решение сложных технических проблем:

«Сначала напиши исследование о причинах, приводящих к повреждению стен, а затем отдельно о том, как защитить их от разрушения». В.М. 157 г.

Смотрите также в главе Н-9 комментарий по поводу того, как Леонардо усовершенствовал военную технику.

Второй источник постановок прикладных работ основывается на результатах его собственных исследований.

«Когда будешь окончательно оформлять исследования о движении воды, не забудь включить в каждый раздел предложения по их использованию, для того чтобы эта наука могла быть небесполезной». Ms. F 2v.

И Леонардо действительно следовал этому правилу. Полагаю, что изобретённый Леонардо да Винчи велосипед, **Рис.69-а**, воспринимается многими как одно из его наивысших творений. А ведь этот проект был сделан на самом деле походя, просто в попытке найти применение для цепной передачи, Рис.**69-б**, элемента в детально разработанной Леонардо системе деталей машин (см. параграф Н-8.2 и специальную главу «Элементы машин» в статье Рети [95]. Вне всякого сомнения, ни сам Леонардо, ни его современники не могли по достоинству оценить значение этого изобретения, потому что ехать на лошади гораздо быстрее и легче. К тому же резины в Европе в то время ещё не знали, обод на Леонардовом велосипеде по необходимости был бы деревянным или металлическим, и велосипед в то время не имел шансов стать популярным видом транспорта. Интересно в связи с упоминанием этого изобретения Леонардо заметить, что позднее, в XIX веке, в процессе усовершенствований вновь изобретённого велосипеда переход от первоначальной конструкции без педалей, где велосипедист сидел на седле и отталкивался от земли ногами, до конструкции с цепной передачей занял около 80 лет[80] !



Рис.69а

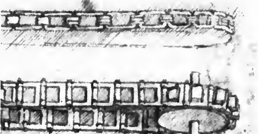


Рис.69б

2.5. План исследования

Для того чтобы поразительно успешно работать в разных областях, Леонардо да Винчи должен был детально и очень продуманно планировать свои исследования. Школьники распределяют своё время между выполнением домашних заданий, чтением, играми, спортом. Учителя планируют свою работу на весь семестр, и на каждый урок, и обычно выполняют свои планы. Инженеры при выполнении сложных проектов составляют так называемые «сетевые графики», в соответствии с которыми планируется выполнение различных работ параллельно, с согласованием времени завершения этапов. Положение с планированием в науке, особенно при исследованиях в мало изученных областях, является существенно более сложным. Невозможно проводить исследования без плана, но планы, как правило, не выполняются в полном объёме. Оглядываясь назад на мой собственный 30-летний опыт исследований механизма деформации при ударно-волновом нагружении (см. раздел 6.4), могу отметить следующие причины несоответствия между планами и их реализацией. Во-первых, невозможно предсказать научное открытие. Исследования обычно планируются и ведутся по нескольким направлениям, и, когда Вы получаете в своих экспериментах или теоретическом анализе принципиально важный, новый результат, конечно же, начнёте глубже «копать» в этой области и будете менее активны в других, запланированных исследованиях. Во-вторых, в ходе работы Вы можете уяснить, что какие-то идеи, зависимости уже были получении ранее в чужих работах, неизвестных во время составления плана. И, наконец, большие научные задачи, особенно связанные с созданием специальных установок, требуют во многих случаях целенаправленного финансирования.

Давайте посмотрим теперь на особенности планирования научных исследований у Леонардо (следует напомнить, что во многих областях ему приходилось начинать практически с нуля).

Книга, которую Вы держите в руках, написана для разных категорий читателей. Поэтому я ограничусь здесь кратким рассмотрением лишь одной области исследований Леонардо да Винчи, а именно, какие проблемы, чисто научные и прикладные, он считал особо важными при изучении *Воды*. Его план предполагаемого манускрипта о *Воде*, составленный после многих лет работы, записан в Кодексе Хаммера:

РАЗДЕЛЫ КНИГИ:

1. О воде как таковой.
2. О море.
3. О жилах.
4. О реках.
5. О природе дна.
6. О преградах.
7. О гальке.
8. О поверхности воды.
9. О вещах, которые движутся в ней.
10. О регулировании рек.
11. О водопроводах.
12. О каналах.
13. О машинах, которые приводятся в движение водой.
14. О том, как поднимать воду.
15. О вещах, сносимых водой.

Hammer 15 B-15 v

По всем пунктам этого плана имеются более или менее подробные разработки в Кодексе Хаммера (см. комментарии Карло Педретти [Pedretti 1987, p. 136-138]), Атлантическом Кодексе, Манускрипте F и других книгах Леонардо да Винчи. Согласно собственному подсчёту Леонардо, *«на этих восьми листах имеется 730 заключений, относящихся к воде»*. Hammer 11A-26 v. Фактически, каждый раздел из перечисленных в плане включает ряд проблем различного уровня сложности и значения. Первая глава *«О воде как таковой»* должна была включать такие проблемы как сцепление между частицами воды - Hammer 23v., 25r. , 27r., 27 v. (в современной терминологии это эффекты поверхностного натяжения); испарение и конденсация воды – 28 r.; различные виды движения воды и их причины (приливы – 17 v.; вихри – 27 v., 33 r.; волны – 14 v., 26 v., 36 v.); различные подходы к проблеме происхождения источников на вершинах гор (см. раздел 5.1. b).

Естественно, Леонардо да Винчи периодически корректировал свои планы. В записной книжке Ms. F, которая датируется 1508—1509 г., то есть на 5 лет позднее Кодекса Хаммера, имеется много важных дополнений к предполагавшемуся Трактату о Воде, в том числе следующие:

«Книга 32. О движении, которое производит огонь (тепло), которое проникает в воду через дно котла: оно гонит пузыри к поверхности воды.... И этот эксперимент ты проведёшь в стеклянном сосуде квадратного сечения... и в медленно подогреваемой воде ты сможешь наблюдать много красивых явлений проникновения одних элементов сквозь другие с помощью подмешивания в воду маленьких зернышек проса». Ms. F 26 v.

«Книга 42. О дожде....Напиши, как облака образуются и как они растворяются, и что заставляет пар подниматься из воды в воздух... и как образуются снег и град...». Ms. F 35 r.

«Опиши, как изменяется движение воды от поверхности ко дну, какая часть воды движется медленнее, какая быстрее.... О пересечении волн, отражённых о противоположных берегов потока...». Ms. F 89 r.

Не правда ли, интересные разделы добавлены к первоначальному плану? Жаль, что Леонардо да Винчи не успел написать Трактат о Воде.

Бо́льшая часть заметок в его Записных Книжках представляет собой на самом деле черновые материалы, записи для себя. Читатель здесь и там встречает как планы трактатов на различные темы, так и текущие программы наблюдений и экспериментов. Его программы столь системно составлены и ключевые вопросы столь чётко сформулированы, что несколько трактатов, которые Леонардо да Винчи собирался, но не успел

написать, были скомпонованы позднее на основе его черновых записей. Франческо Мельци, его ученик и наследник, составил в соответствии с планами Леонардо *"Trattato di Pittura"- Трактат* о *Живописи*. Артуро Уччелли, историк науки, и Карло Замматтио, инженер, реконструировали в соответствии с планами Леонардо да Винчи *"I Libri sul Volo"- Трактат* о *Полёте Птиц* [Uccelli 1952], О'Маллей и Саундерс издали работы Леонардо по анатомии с комментариями [O'Malley 1952].

Задача – Леонардеска

69. *«Внедрение движущегося тела в препятствие есть следствие, рождённое в результате удара, поскольку импульс движения при этом поглощается»*. Hammer 8B-29r.

Разработайте программу исследований интересного, красивого, и лишь в некоторых аспектах изученного явления взаимодействия падающего тела с водой, сравнительно простого и легкодоступного для исследования варианта проблемы Леонардо.

III. РЕШЕНИЕ

Р Е Ш И
+ Е С Л И
С И Л Е Н

Задача: заменить буквы цифрами так, чтобы выполнялось равенство.

3.1. Вторичные наблюдения

Мы уже отмечали роль наблюдений в научных исследованиях ранее, в Главе I. **Происхождение Проблем**. Наиболее важной задачей наблюдателя на начальном этапе исследования является быть предельно внимательным, чтобы воспринять явление, объект во всей его полноте, во всём его богатстве деталей и оттенков, не пропустить особенностей, которые могут оказаться существенными при последующем анализе. *Вторичные Наблюдения* представляют собой особый этап *Решения проблемы*. Наблюдения, аккуратные и проведённые по определённой системе, должны установить влияние параметров процесса на его развитие. Карло Педретти, говоря об исследовании Леонардо проблемы происхождения горных источников, употребил образное выражение: «он должен был прийти к противоположному заключению после длительного и трудоёмкого периода наблюдений и **вторичных мыслей**» [87]. Перефразируя это выражение К.Педретти, мы назовём «вторичными наблюдениями» специальную часть его научного метода – систематические наблюдения с целью проверки и уточнения существующих моделей явления.

Давайте рассмотрим роль вторичных наблюдений на примере работы Леонардо да Винчи по исследованию происхождения окаменелых морских раковин в горах. Ранее, в главе Н-6.3 мы обсуждали значение его выводов из этой работы для выяснения далёкого прошлого Земли. Возражения Леонардо против использования факта наличия окаменелостей в горах как свидетельства всемирного потопа были обоснованы именно на основе изучения распределения раковин в местах их находок и сопоставления наблюдаемого окружения окаменелостей с характерными биологическими особенностями соответствующих организмов. Именно поэтому эти материалы его исследований представлены в данном разделе. Обратите внимание на то, как чётко Леонардо систематизировал свои наблюдения для последовательного опровержения тезисов сторонников гипотезы о связи окаменелых раковин в горах с Всемирным потопом.

1. <u>Наблюдения не подтверждают распределения раковин по склонам гор</u>, которое следовало бы ожидать в случае их появления там вследствие Потопа:

«... признавая, что Потоп поднял воду на семь локтей выше самой высокой горы, как это было написано тем, кто измерял, эти раковины, которые всегда находятся недалеко от берега, должны были бы находиться на склонах гор, а не на столь малом расстоянии от их подножия, и тем более все на одном уровне, слой за слоем», Hammer 8B-8v.

Более того, раковины в Италии находят распределёнными в толстых слоях, так что *«в Александрии делла Пальа в Ломбардии нет другого камня для производства извести, кроме состоящего из бесчисленного множества творений, присущих морю, но она теперь находится на расстоянии более двухсот миль от моря».* Hammer 10 B-10 v.

2. Потоп не мог принести в горы мёртвые раковины, потому что они тяжёлые:

«Потоп произошёл в результате дождей, которые заставили реки с теми объектами, которые они переносили, неудержимо мчаться в сторону моря, и они не могли перенести мёртвые раковины от берега до гор. И, если ты скажешь, что Потоп затем поднял воду выше гор, перемещение моря против направления течения рек должно было бы быть таким медленным, что оно не могло бы увлечь с собой предметы тяжелее тех, что сами плавают в нём». Hammer 10B-10 v

3. В горах находят раковины, которые когда-то жили в этих местах: находят их *«... парами, рядами. И если бы раковины были бы принесены туда бурными водами Потопа, они должны были бы быть перемешанными, отделёнными друг от друга, среди грязи, а не в регулярных слоях, как мы видим их теперь»*. Hammer 8B-8v

«Мы находим устриц очень большими семействами, среди которых многие раковины ещё соединены между собой....В горах Пармы и Пьяченцы встречается множество раковин и кораллов с ходами червей, и эти раковины прикреплены к скалам. Когда я работал над большим конём в Милане, крестьяне принесли ко мне в мастерскую большой мешок с такими окаменелостями, и многие из них сохранили исходное состояние». Hammer 9B-9v.

4. Моллюски не плавают и не могли бы следовать за поднимающимся морем с требуемой скоростью:

«Если ты скажешь, что природа этих моллюсков заставляет их держаться берега моря, и поэтому, когда уровень моря стал подниматься, моллюски оставили свои прежние места и последовали за морем вплоть до его высшего уровня – на это я отвечу, что моллюск сердцевидка (Рис.35) не плавает, а ползает, делая борозду в песке, и с такой скоростью он не мог бы пройти от Адриатического моря до Монферрато, расстояние в двести пятьдесят миль за сорок дней – как об этом сказал тот, кто зарегистрировал это время», Hammer 8B-8 v.

И Леонардо да Винчи приходит к заключению: *«Я не вижу другого способа для указанных моллюсков оказаться так далеко от моря кроме как того, что они должны были родиться там».* Hammer 9A-9r.

5. Исследования Леонардо завершились очень важным наблюдением, свидетельствующим против Всемирного Потопа, что *«раковины в Ломбардии находят на четырёх уровнях. А это значит, что они жили в разные времена; и все эти места находятся в долинах, выходящих к морю»*, Hammer 1B- 36 r.

Цитированные выше наблюдения радикально отличаются от первичных наблюдений, поскольку теперь, на стадии критического анализа их соответствия или противоречия обсуждаемой модели или теории, каждый пункт сопровождается убедительной аргументацией, основанной на глубоких познаниях Леонардо да Винчи в механике (тезисы 2, 4) и в биологии (тезисы 1, 3, 4, 5).

Материалы, представленные в первой части книги, позволяют читателю самостоятельно проанализировать наблюдения Леонардо, направленные на проверку существующих гипотез в областях, наиболее близких его профессиональным интересам (полёт, трение, строительная механика, оптика, анатомия, физиология, и др.).

В заключение следует подчеркнуть, что многие *великие открытия и изобретения* наших гениальных безвестных предшественников, такие, например, как независимая разработка точных календарных систем в Месопотамии и Центральной Америке, изобретение пороха, ракет и магнитной стрелки в Китае, достижения в выведении новых сортов растений и пород животных, изобретение Дамасской стали, и др. были, несомненно, сделаны в соответствии с одной и той же схемой: *первичное наблюдение*, обычно случайное, некоторых важных явлений, процессов, эффектов ⇒ *гипотеза* о причинах этого явления ⇒ *систематические наблюдения,* направленные на проверку гипотезы и дальнейшее познание изучаемого явления ⇒ успешное *использование* хорошо проверенных соотношений и технических методов *на практике. Вторичные, систематические наблюдения* являются наиболее важным, решающим звеном в этой цепочке!

3.2. Информативный рисунок

Как наиболее понятно описать результаты наблюдений? Это можно сделать, составив детальное словесное описание (вербальный метод), либо, сделав рисунок (визуальный метод). Леонардо да Винчи – непревзойдённый художник – конечно же, предпочитал рисовать. Название этого раздела предполагает особую категорию рисунков, которые должны представлять существенные особенности изучаемого явления. Во многих случаях именно фиксирование важных деталей является наилучшим, фактически конечным результатом исследования. В настоящее время учёные могут наблюдать структуру вещества на атомном уровне в ионном микроскопе, фиксировать детали взрывных процессов с помощью осциллографов и импульсных рентгеновских камер, исследовать особенности строения планет и астероидов с помощью космических аппаратов. Тем не менее, роль информативных рисунков в научных исследования остаётся очень важной. Ведь учёный в рисунке, в схеме явления стремится представить своё видение сути протекающего процесса, его наиболее важные особенности, что не всегда может быть получено непосредственно из фотографии.

Вернёмся к рисунку «Великая Леди Анатомия», Quaderni I, 12 r (**Рис. 48** в разделе Н-9.1 Анатомия). Как уже было отмечено ранее, Леонардо применил эффектный, весьма сложный в техническом отношении приём: он изобразил лишь некоторые органы объёмно, другие показал в разрезе, всё несущественное для данного представления либо просто убрал (мышцы, кишечник), либо сделал полупрозрачным.

Совершенно необычным по сравнению с анатомическими трактатами, написанными до и после Леонардо, было изображение им изучаемых органов с трёх, а, если нужно, и с четырёх точек зрения, ибо только тогда *«тебе станут ясными как отдельные частности, так и вся совокупность»* Quaderni I, 2. Пример такого решения, изображения мышц плеча с трёх точек зрения, показан на **Рис.51**. Следует отметить, что столь привычное для современных инженеров изображение деталей на технических чертежах в ортогональных проекциях ведёт начало с конца XVII века по предложению французского учёного Гаспара Монжа.

И ещё один приём информативного рисунка он применил в анатомических исследованиях – изображение на одном рисунке ряда послойных срезов ноги, Quaderni V,20 r.

На **Рис.70** (См. раздел Иллюстрации) показаны процессы, происходящие при падении струи воды в спокойную воду (*«в пруд»*, согласно подписи под рисунком). Рисунок является одним из шедевров Леонардо да Винчи, учёного-художника. Интересно, что мой сын Алексей, программист, физик по образованию, на вопрос о его первом впечатлении от рисунка, ответил: «Всё течёт и изменяется», а у его жены Юлии, интериодизайнера, музыканта по образованию, рисунок вызвал ассоциации с музыкой Рахманинова и картинами Ван Гога. Мне нравится этот рисунок потому, что в нём неразделимо слились обострённый процесс видения гениального художника и глубочайшее проникновение учёного в суть изучаемого явления. При внимательном изучении рисунка становится очевидным, что это не есть попытка отобразить процесс с фотографической точностью, хотя, несомненно, мало кто из художников обладал такой способностью подмечать мельчайшие детали быстро протекающих процессов как Леонардо (вспомните, например, его исследования маневров птиц). В своих подробных пояснениях к рисунку Леонардо да Винчи подразделяет исследуемый процесс на движе-

ние начального потока, движение воды, отражённой от дна, возникновение вихрей и пузырей. Для того чтобы в деталях показать своё понимание процесса формирования вихрей Леонардо применяет изобретённый им приём – изображение изучаемого процесса в научно скорректированном виде, когда *некоторые реально наблюдаемые эффекты преднамеренно игнорируются* (в этом процессе – образование больших пузырей на поверхности, которые скрывают более интересные детали картины), но чётко показываются другие детали, обычно слабо заметные или вообще невидимые (вихри на глубине и траектории потоков). Многолетние исследования процессов взаимодействия потоков воды привели Леонардо в результате к редкой ситуации, когда *научный рисунок не просто подтверждает некую идею, но содержит на самом деле много больше того, что автор смог понять и объяснить.* Учителя физики могут использовать этот научно-художественный шедевр Леонардо для демонстрации и пояснения двух весьма нелёгких для восприятия на школьном уровне важных законов, а именно, закона Бернулли и закона сохранения углового момента в замкнутой системе.

- Закон Бернулли представляет собой ни что иное, как закон сохранения энергии для процесса стационарного течения жидкости или газа (в стандартных обозначениях он записывается в виде $\mathbf{P + \rho gh + \rho V^2/2 + \rho q = const}$). Им объясняется, в частности, подъёмная сила крыла самолёта: на верхней, выпуклой поверхности скорость потока воздуха больше, чем на нижней, а давление, соответственно, меньше. Тот же эффект различия скоростей потока определяет втягивание мяча, плавающего в ванне в струю воды. Ребёнка это наблюдение приводит в восторг, и доходчивое объяснение, данное взрослым, может стать столь важным импульсом для развития любознательности. Вокруг зоны соударения струя создаёт понижение уровня жидкости вследствие движения прилегающих слоёв воды в том же направлении благодаря эффекту вязкости. Чем выше скорость потока, тем глубже и шире область пониженного уровня, и, следовательно, тем больше сила, притягивающая мяч к струе.

- Угловой момент массы $\mathbf{m}$, вращающейся со скоростью $\mathbf{V}$ на расстоянии $\mathbf{r}$ от оси вращения равен $\mathbf{mVr}$. Закон сохранения момента количества движения гласит, что суммарный угловой момент в замкнутой системы $\Sigma \mathbf{m_i V_i r_i}$ остаётся неизменным, пока на систему не подействует внешний момент сил. Этот закон определяет, в частности, движение планет вокруг солнца. В случае падения струи в бассейн начальная величина суммарного углового момента системы равнялась нулю. Поэтому сумма угловых моментов возникших вихрей, которые движутся вокруг оси струи против часовой стрелки, должна равняться сумме угловых моментов вихрей, которые движутся вокруг струи по часовой стрелке. В XVI веке закон сохранения суммарного момента количества движения ещё не был открыт, но Леонардо почувствовал эту особенность в исследуемом явлении и нарисовал равное количество вихрей противоположных знаков (ещё более отчётливо этот эффект показан на его другом схематическом рисунке, Windsor 12659).

- Леонардо пытался понять, как вихри зарождаются, развиваются и гибнут, каковы причины соответствующих процессов. Он смог заметить и чётко выделить следующие важные эффекты: зарождение второй системы вихрей под поверхностью, уничтожение вихрей противоположного знака при встрече и подавление вихрей за счёт их взаимодействия с пузырями (*«часть возбуждённой воды, которая оказывается между воздухом и нижележащей массой воды, не может вынести столь многих вращений»*).

Задача – Леонардеска

70. Подтвердите (исправьте, уточните) своими собственными экспериментами, правильно ли понимал Леонардо описанные выше процессы. Некоторые рекомендации:

- оборудование: аквариум или специально изготовленный глубокий и широкий сосуд с прозрачными стенками; видеокамера;
- особые случаи: вхождение потока по вертикали в центре сосуда или вблизи от стенки; вхождение потока в сосуд под разными углами (10, 30, 60°);
- значение скорости потока может быть легко оценено из измерения времени на наполнение литровой банки;
- используйте видеокамеру и маркеры (краска или семена проса) для наблюдения траекторий потоков и измерения скорости частиц (см. раздел 3.2 д – Маркеры);

- вот некоторые интересные проблемы, которые можно предложить априори, ещё до проведения опытов: качественные изменения картины явления (образование пузырей, вихрей, короно-образной структуры на входе) в зависимости от геометрических параметров и скорости потока; зависимость скорости частиц от их положения и времени; последовательные стадии жизни вихрей; влияние тонкого слоя масла на поверхности на процесс. Несомненно, в ходе опытов Вы обнаружите много интересного.

71. Два автомобиля едут по дорогам, которые пересекаются под прямым углом. Первая машина находится в начальный момент на расстоянии L_1 от перекрёстка, вторая - на расстоянии L_2. Их скорости соответственно V_1 и V_2. Найдите минимальное расстояние между автомобилями. Решите задачу графически.

По-видимому, не все интересуются гидродинамикой. Поэтому хочу порекомендовать читателям внимательно изучить и «переварить» информативные рисунки Леонардо из других областей исследований, перечисленных ниже:

- в механике: реальная траектория снаряда [Madrid I, 147 г.] не является параболой, чему нас успешно учили в школе (слова о влиянии сопротивления воздуха на движение тела обычно проговариваются лишь вполголоса и без оценок). Наиболее существенным отличием является крутое падение снаряда на конечном этапе движения вследствие потери горизонтальной компоненты скорости из-за сопротивления воздуха.
- в строительной механике: распределение деформаций в балке при изгибе, **Рис.10**, материал на выпуклой поверхности растянут, на вогнутой сжат, а в центре имеется поверхность с нулевыми напряжениями («нейтральная линия»).
- в космологии: можете ли Вы предложить лучшее объяснение пепельного цвета тёмной стороны луны, чем **Рис.30**, на котором схематически показано попадание на луну солнечного света, отражённого от земли?
- в оптике: многочисленные аккуратные рисунки, поясняющие сложные эффекты света и тени, образование изображения за малым отверстием в экране, и др. (см. раздел Н – 5. Оптика).
- в гидравлике: зависимость скорости воды, вытекающей из сосуда, от высоты столба жидкости, **Рис.13**. Теперь этот рисунок приводится в школьных учебниках физики при объяснении уравнения Бернулли, сформулированного через 300 лет после Леонардо.
- в анатомии: эта область знаний представлена в Виндзорском Кодексе более чем сотней высоко профессиональных, даже на современном уровне, рисунков.

Его комментарии к анатомическим рисункам часто важны и для читателя – не медика. Вот одна из записей такого рода, несколько сокращённая в переводе:

«Если ты скажешь, что лучше наблюдать анатомические демонстрации, чем рассматривать подобные рисунки, ты был бы прав, если бы можно было видеть в единстве, одновременно, все детали, показанные на рисунке; при всех своих способностях ты сможешь составить представление о нескольких сосудах. Для правильного и полного понятия о них я произвёл рассечение более десятка трупов, разрушая и убирая все прочие ткани, находившиеся вокруг этих сосудов, не заливая их кровью, если не считать незаметного излияния из капиллярных сосудов. Невозможно было изучать один труп продолжительное время, так что приходилось работать последовательно с несколькими трупами для того, чтобы получить законченное знание и отметить различия. И если бы ты имел любовь к данному предмету, тебя, быть может, отшатнуло бы отвращение или страх находиться в ночную пору в обществе разрезанных на части, ободранных, страшных мертвецов. И даже если это не помешало бы тебе, быть может, будет недоставать тебе точности рисунка, необходимой в подобных изображениях. И если бы ты овладел рисунком, у тебя не было бы ещё знания перспективы, и требовался бы ещё строй геометрических доказательств и метод расчёта сил и крепости мышц. И, может быть, терпения не хватит у тебя, и ты не будешь прилежен. Обладал ли я этим всем или нет, об этом дадут ответ 120 мною составленных книг, причём не мешали мне ни корысть, ни нерадение, а только время. Прощай». Quaderni I, 13v

Для более полной информации об исследуемом объекте следует выполнять серию рисунков. Так, строение сердца, см. **Рис.80** (См. раздел Иллюстрации), Quaderni I, 3r поясняется и уточняется ещё на десятке страниц Виндзорского Кодекса, размером 291-414 мм, с 30 рисунками сердца и клапанов с разных точек зрения, в различных сечениях, с разным уровнем абстракции.

Уважаемый читатель! Доводилось ли Вам бывать в школе, в которой на уроках рисования стремились бы развивать врождённую любознательность детей, учить самостоятельно находить ответы на вопросы КАК и ПОЧЕМУ? Обычная художественная школа имеет совсем другую систему ценностей: цвет, композиция, чувство. Курсы рисования и черчения в технических и архитектурных институтах имеют узкопрофессиональную направленность. Может быть, некоторые учителя и родители постараются реализовать особенности метода Леонардо в своей работе с детьми?

3.3. Эксперимент

Развитие Западной науки базируется на двух великих достижениях: изобретение формальной логической системы (в Эвклидовой геометрии) греческими философами, и открытие возможности нахождения причинных отношений в систематических экспериментах (при Ренессансе).

А. Эйнштейн

3.3.1. Роль эксперимента

Разные бывают эксперименты и разные экспериментаторы. Словарь Вебстера определяет эксперимент как *«опыт; пробу; контролируемый проект для обоснования гипотезы, иллюстрации известного закона или эффекта, или открытия неизвестного»*. Леонардо да Винчи рассматривал роль экспериментального исследования в соответствии с этими определениями, причём с большим акцентом на открытие неизвестного:

«Моё намерение – сначала обратиться к эксперименту, а затем обоснованно показать, почему процесс проходит именно таким образом. И это верное правило, которому должны следовать те, кто изучает эффекты в природе: и хотя природа начинается с причин и кончает опытом, нам надобно начинать с опыта и посредством его исследовать причину». Ms. E 55r

Какое глубокое определение роли эксперимента в научном исследовании! Между тем, научные журналы переполнены экспериментальными работами, которые в лучшем случае можно рассматривать лишь как накопление фактов, полученных стандартными методами в слегка изменённых условиях и зачастую без попытки показать, почему процесс должен протекать именно таким образом. Анри Пуанкаре как-то сказал: «Подобно тому, как дома сделаны из камней, так и наука делается из фактов; но куча камней не есть дом, а куча фактов не всегда есть наука». Следующие мысли Леонардо позволяют ещё глубже почувствовать его отношение к эксперименту как основе достоверного знания, что особенно важно, если вспомнить преимущественно умозрительный, не-формульный характер научных построений в период до Галилея и Ньютона:

«По-моему, те науки полны ошибок и бесполезны, которые не рождены из Опыта, Матери всего достоверного, и не проверены Опытом, то есть не прошли через пять органов чувств в начале, в середине и в конце». T.P. 33

Эксперименты на разных стадиях научной работы действительно преследуют разные цели: выбор перспективных направлений и методов исследования на начальном этапе; эксперименты как источник достоверных результатов в основной части работы; и специальные опыты в конце исследования для проверки и дополнительного обоснования выводов.

«Natura non rompe sua legge». Ms. E 43 v.

«Природа не нарушает свои законы»!

Мои ученики в Новосибирской ФМШ запоминали наиболее важные, инструктивные высказывания Леонардо да Винчи на итальянском языке; это и знак уважения, и приятно, и, я полагаю, остаётся в памяти навсегда.

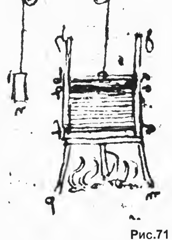
«Опыт не ошибается; ошибаются только Ваши суждения, когда Вы ожидаете от опыта того, что не находится в его власти. Несправедливо жалуются люди на опыт, обвиняя его в склонности к обману. Оставьте его в покое и обратите Ваши жалобы на собственное невежество...». C.A. 154 r.

Помните, что Ваша модель, Ваша схема изучаемого явления всегда есть лишь некоторое приближение к истине. Будьте предельно внимательны к противоречиям между Вашими экспериментальными данными и предсказаниями теории. Именно анализ причин расхождения между теорией и результатами аккуратных экспериментов приводит во многих случаях к уточнению теории и к возникновению новых представлений.

3.3.2. Исследование принципиально важных эффектов

Как говорил Лев Николаевич Толстой, *«Мудрость состоит в том, чтобы знать, о чём стоит думать»*. Имея в виду работу учёного по исследованию сложной проблемы, следует, видимо, сделать в этом высказывании небольшое уточнение, а именно, сказать слово ***чувствовать*** вместо более жёсткого и категоричного ***знать***. И ещё одно уточнение по поводу высказываний Л.Н.Толстого «о чём стоит думать»: ***«Очень важный приём, помогающий развивать в себе свободу мысли, это – избегать занимать своё внимание чем бы то ни было только потому, что оно «интересно»***. Благодаря такому «любопытству» люди загромождают своё сознание массой ненужного балласта, мешающего свободному движению их мыслей...»[Толстой 1910]. А ведь как это мудро и в высшей степени полезно звучит в наш век потоков избыточной и на 99% бесполезной информации, изливающейся на зрителей с экранов телевизоров и компьютеров! Притом, потоков информации, которую готовят профессионалы специально с целью «заинтересовать зрителя». Во времена Леонардо да Винчи с этим было много проще. Следующий пример демонстрирует способность Леонардо выбирать ключевую проблему в изучаемом явлении и предлагать простую схему установки для получения важного результата:

«Поставь эксперимент и установи правило о том, как возрастает объём воды, когда она превращается в пар. Мы возьмём квадратный сосуд с открытым верхом ghef **(Рис.71)**, *поместим внутри мешок, сделанный из бычьего пузыря, который очень тонок, заполним его до половины водой, а верхняя половина будет свободна от воды и воздуха. Сверху положим прямоугольный брусок ab сечения такого же, как внутренний размер сосуда. И когда при нагревании вода станет испаряться, верхняя половина мешка начнёт наполняться паром и крышка, уравновешенная противовесом n, будет легко подниматься паром.... И тогда измерь, насколько меньше стало воды, и увидишь, сколько из неё получилось пара»*. Hammer 10A-10r; 15A-15


Рис.71

К сожалению, материалы научных исследований Леонардо да Винчи, сохранившиеся до настоящего времени в его манускриптах, не позволяют установить, проводил ли он сам эти измерения и установил ли правило, связывающее объём пара при температуре кипения с количеством испарившейся воды. На описанной выше установке он мог не только измерить значение плотности пара при температуре кипения, но и зависимость объёма газа от давления при постоянной температуре, просто изменяя массу груза над завязанным мешком с воздухом. Обратно пропорциональная зави-

симость между объёмом газа и давлением, **PV = const**, была установлена лишь в 1660 году англичанином Р. Бойлем и французом Е. Мариоттом.

Леонардо понимал возможность практического использования энергии пара и сконструировал паровую машину одноразового действия – паровую пушку, **Рис.72,** Ms. B 33 r. Когда зарядное устройство пушки раскалено горящим углём, артиллерист поворачивает рукоятку наверху, открывается заслонка, отделявшая ёмкость с горячей водой от камеры, вода *«мгновенно превращается в громадное количество пара, и это выглядит изумительно, особенно, когда наблюдаешь его ярость и слышишь грохот»*. Согласно записи Леонардо, небольшая пушка, изготовленная из меди, метала 60-фунтовые ядра на расстояние более чем 2/3 мили. Он ласково называл свою грохочущую игрушку *architronito* – пушечка.

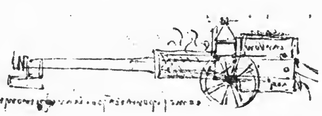


Рис.72

См. также в главах Н-5. Космология; Н-6. Земля как живой организм; 6.1. Трение. другие примеры способности Леонардо сосредотачиваться на исследовании принципиально важных вопросов в заинтересовавшей его области.

3.3.3. Аккуратность при проведении экспериментов

3.3.3 – а. Точность измерений

Современные экспериментаторы представляют обычно в своих публикациях результаты измерений с указанием погрешностей. Вы не встретите таких численных оценок точности экспериментов в работах Леонардо просто хотя бы потому, что математический аппарат оценок погрешностей, основанный на дифференциальном исчислении, в то время ещё не был разработан. Тем не менее, у Леонардо да Винчи были свои чёткие принципиальные требования к обеспечению точности измерений и к созданию надёжных экспериментальных установок. Как само собой разумеющееся воспринимается его требование повторять эксперимент несколько раз.

«Опыт не обманывает!» Но глаз может ошибиться, осязание обмануть, слух дать неверную информацию. Потому *«прежде чем прийти к заключению, повтори эксперимент два или три раза и удостоверься, что опыты дают тот же самый эффект»*, Ms. A 47 r.

3.3.3 – б. Требования к установке

Ещё более важным является его требование при создании установки быть предельно аккуратным во избежание искажённого представления изучаемого явления и появления, как мы сказали бы сейчас, систематических ошибок:

«Эксперимент следует проводить много раз, так чтобы какие-либо случайности не могли помешать доказательству или фальсифицировать его, поскольку эксперимент может быть ошибочным, независимо от того, обманывает он исследователя или нет». Ms. M 57r.

На первый взгляд кажется, что это высказывание Леонардо противоречит его убеждённости в том, что *«опыт не обманывает...»*. Но это только на первый взгляд. Краеугольным камнем философии Леонардо было положение, что в природе существует бесконечное множество связей, которое *никогда* не может быть полностью отражено в эксперименте. Уже на стадии конструирования экспериментальной установки следует помнить о возможном влиянии на результаты исследования неучтённых параметров. Наиболее типичными скрытыми причинами таких ошибок являются, например, необоснованное пренебрежение трением; зависимость механизма протекающих процессов от температуры; потеря устойчивости при некоторых критических значения параметров в различных физических, биологических и экономических процессах. Исключение

таких, так называемых «систематических» ошибок, или, по крайней мере, аккуратная оценка их возможного влияния отличают высококвалифицированного экспериментатора от бездумного исполнителя. Для того чтобы избежать дополнительных усложнений, Леонардо призывает проводить опыты в наиболее простых, прозрачных для анализа установках:

«Когда ты хочешь получать результаты на некотором инструменте, не позволяй себе усложнять его введением дополнительных вспомогательных частей, но иди по наиболее короткому пути и не уподобляйся тем, кто, когда они не могут точно описать какую-либо вещь на её собственном языке, идут по пути околичности с многословием и большой путаницей». С.А. 206 v-a.

3.3.3 - в. Система в проведении экспериментов

Эксперименты да Винчи и его программы экспериментальных исследований в различных областях поражают высоким уровнем организации. Существование взаимных связей между различными параметрами и процессами в исследуемом явлении диктует необходимость аккуратного исследования роли каждого из существенных параметров в контролируемых условиях. Это особенно важно при изучении комплексных процессов, когда пренебрежение каким-либо параметром без предварительной оценки может привести к неверному решению.

По-видимому, наиболее наглядно системный подход Леонардо проявляется в анатомических работах. Обычно он изображал сначала изучаемый орган отдельно как целое, затем в различных сечениях. На следующем этапе исследования он демонстрирует связи между органами, опять с разных точек наблюдения. В результате, общее число иллюстраций, необходимых для представления сердца и лёгких, согласно его программе, описанной в Windsor 19054 v, составили 42! (см. интересные комментарии в [113]).

Задача – Леонардеска

72. *«Если камень падает в воду по вертикали, вода, выплескиваемая с места удара, также будет подниматься в вертикальном направлении»*. Madrid I, 132 v.

Уточните это наблюдение Леонардо, используя видеокамеру; объясните эффект формирования обратной струи.

3.3.4. Новые методы (измерения; модели; маркеры)

«Если я смог видеть дальше, чем другие, то лишь потому, что стоял на плечах гигантов». Это высказывание Исаака Ньютона, основателя современной физики, обычно цитируется, когда хотят напомнить, что любое достижение в науке базируется на знаниях, которые были получены поколениями предшественников. Не каждый учёный может достичь уровня Ньютона, но каждый стремится сделать что-либо важное, что-либо выходящее за рамки обычной рутинной работы. В наше время, когда армия научных работников в мире настолько огромна, что практически в любой области исследований известные явления и эффекты достаточно глубоко изучены до уровня, который определяется существующими теориями и стандартными экспериментальными методами. Применение новых теоретических подходов и новых экспериментальных методик повышают вероятность прорыва на новый горизонт в изучаемой области.

3.3.4-а. Методы и приборы для исследований

Невозможно представить современную науку и технику без точных измерений размеров и расстояний (от субатомного уровня, до далёких галактик), временных интервалов, оптических и электрических параметров. Успехи в научных исследованиях Леонардо да Винчи также во многом определялись разработкой специальных устройств и приборов для измерений различных параметров. Мы рассмотрим здесь лишь некоторые из его изобретений и оригинальных методик измерений.

Методы и приборы для измерений в научных исследованиях:

- **Измерение величины силы в системе винт-гайка.** Предлагая систему винт-гайка в качестве элемента, передающего большую нагрузку в различных подъёмных механизмах, Леонардо да Винчи столкнулся с необходимостью аккуратной оценки силы, действующей на витки резьбы. Он предложил простой способ измерения силы, действующей на резьбу, в зависимости от нагрузки, **Рис.73**-а, Madrid I, 4v. Статические эксперименты позволяют измерить величину этой силы с большой точностью. Несомненно, Леонардо проводил такие измерения. Конечным результатом этого исследования стал вывод фундаментального значения об эквивалентности винта и наклонной плоскости. Ясное, чисто графическое доказательство этой идеи представлено на **Рис.73-б**, Madrid I, 86 v., где винтовая поверхность развёрнута и превращена в наклонную плоскость. Таким образом, проблема оценки силы, действующей на резьбу, была сведена к более простому для анализа случаю наклонной плоскости, где нормальная и тангенциальная компоненты силы могут быть легко рассчитаны. Обратите внимание на номер страницы - 86, после первого подхода к проблеме, описанного на стр.4. Фундаментальные результаты получаются не сразу, нужно поработать, поразмышлять!

Затем Леонардо пришёл к выводу о механической эквивалентности между четырьмя простыми механизмами – наклонной плоскостью, винтом, системой блоков и рычагом.

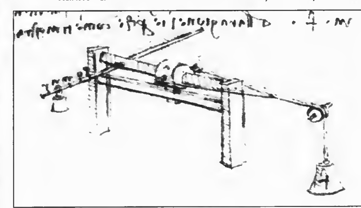


Рис.73а

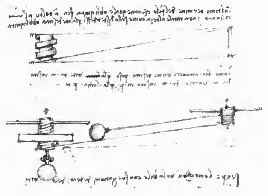


Рис.73б

- **Анемометры для измерения скорости ветра**, **Рис.74**, В.М. 24 г. Леонардо предложил две конструкции прибора. Первая очень проста, но может быть применена фактически лишь в узком интервале скоростей ветра. Вторая система более чувствительна благодаря применению конического усилителя. Более того, изменение высоты оси конуса позволяет легко изменять интервал измеряемых скоростей ветра. Современные анемометры пропеллерного типа представляют собой дальнейшее развитие того же подхода.

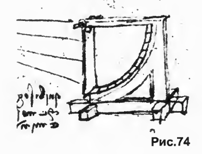


Рис.74

Методы и приборы для измерений при решении прикладных задач

- Устройство для измерения прочности проволок и канатов (см. **Рис. 8** в разделе Н-3.1).
- Методы измерения и расчёта расстояния до удалённых зданий и гор [С.А. 361 г.].
- Картография. На **Рис.37** показана карта крепости Имола [Windsor 12284], сохранились также черновые схемы Леонардо с измерениями расстояний между объектами. На схеме показаны радиальные лучи из центра, использованные для повышения точности построения карты.
- Прибор для измерения расстояния, пройденного машиной [С.А. 1 г-а]

- Леонардо понимал необходимость предварительного, в процессе конструирования, измерения подъёмной силы крыла летательного аппарата и предложил соответствующий метод (см. **Рис. 18** в разделе Н-4.3. Движитель). Современные самолёты проходят натурные испытания в специальных аэродинамических трубах.

Задача – Леонардеска

73. Оцените размеры пластины в анемометре Леонардо, которая отклонялась бы на угол около 30° при скорости ветра 10 м/с.

3.3.4 - б. Модели

Мы отмечали в разделе 3.3.2, что Леонардо да Винчи стремился при проведении научных работ сосредоточиться на исследовании наиболее существенных эффектов. Поскольку в любом реальном процессе существует неограниченное множество связей, важным практическим приёмом, применявшимся Леонардо, было изготовление специальных моделей, позволявших исследовать интересующий его процесс в предельно чистом виде. Его высокая оценка роли моделей в научных исследований ясно видна из нижеследующих записей, относящихся к исследованиям полёта птиц:

"Анатомируй летучую мышь, исследуй её тщательно, и по этой модели сконструируй летательный аппарат». Ms. F 53v. Действительно, Леонардо провёл такое исследование и конструировал свои махолёты с крыльями типа крыла летучей мыши, а именно с пластинами из непроницаемого для воздуха материала, закреплёнными на арматуре. [Ms. B 89 v; C.A. 309 v-b; C.A. 381 v-a]. Для повышения прочности Леонардо предлагал делать крылья с ребрами жесткости; аналогичная структура используется и в современных самолётах.

«... когда центр масс птицы находится ниже крыльев, у неё меньше риска быть опрокинутой. Сделай небольшую копию птицы и испытай её на неглубоком месте над поверхностью воды на реке Арно, где постоянно дует ветер. Проведи завтра наблюдения над моделями; протри оригиналы и оставь их во Флоренции, так что, если ты потеряешь те, которые берёшь с собой, изобретение не будет утеряно». C.A. 214 r-d

Интересно также посмотреть, как Леонардо да Винчи использовал модельные представления в анатомии:

«Памятка. Ты внесёшь только путаницу в изображение мышц и их положений, их начала и конца, если сначала не сделаешь рисунок мышц наподобие нити; тогда ты сможешь представить их одну поверх другой, так, как их расположила природа, и тогда ты сможешь дать им названия соответственно тому органу, которому они служат, а именно: мышца, которая движет конец большого пальца, его среднюю кость или его первую и т.д. Однако помни, что нити, обозначающие мышцы, следует делать в тех же положениях, в каких находятся центральные линии каждой мышцы, - тогда подобные нити покажут фигуру ноги и их расстояния законченно и ясно». Fogli A 18.

3.3.4 - в. Маркеры

Маленькие дети любят пускать пробковые или бумажные кораблики в бурный весенний ручеёк и следовать за ними, будучи полностью поглощёнными этим процессом. Такие наблюдения могут стать для них, при аккуратном соучастии учителя, основой для реального научного исследования. Наблюдая за характером движения корабликов на разных участках, дети смогут сами сделать свои первые открытия, такие как «тихая вода течёт глубоко» (это перевод английского эквивалента русской поговорки «в тихом омуте черти водятся» - *«still waters run deep»*), могут исследовать, как образуются водовороты, как можно защитить берега от размывания. Кораблик здесь является меткой, маркером для исследования движения потока.

Леонардо да Винчи едва ли был первооткрывателем маркеров, но многие его крупные достижения в

исследованиях движения воды и воздушных потоков, в акустике и в анатомии были получены с их помощью. В качестве меток, позволяющих наблюдать различные эффекты при движении воды и воздуха, Леонардо использовал соломинки, грязь, пыль, мелкие семена, пузырьки, дым, птиц, парящих в восходящих потоках. Приведённые ниже записи позволяют увидеть, как Леонардо ставил эксперименты с использованием маркеров и к каким выводам он смог прийти.

«Если хочешь увидеть, где, в каком месте – на поверхности, в середине или на дне – вода течёт быстрее, налей воды, которая окрашена синопской краской, вместе с маслом в поток, который протекает по неровному дну, имеющему разные уклоны, - тогда по течению ты в точности увидишь, что опережает. А именно: если опережает масло, это значит, что вода течёт по поверхности быстрее, чем внизу; если опережает окрашенная вода, то нет сомнения, что река течёт быстрее в середине, чем вверху и внизу». С.А. 266 v

Результаты этих исследований были использованы при анализе конструкции понтонного моста:

«Так как всякое течение рек быстрее в середине их ширины, нежели по бокам, и вода течёт быстрее по поверхности, нежели на дне, и поскольку при одинаковом течении понтонный мост, устроенный на барках, уже сам по себе является на середине своей длины более слабым, чем у концов, я заключаю, что мост этот сломается посредине, там, где большая слабость моста сочетается с большим напором воды». С.А. 176

Рис.75

На **Рис. 75** показана установка для исследования вытекания воды из отверстия на дне сосуда, в которой также успешно применены маркеры – вымоченные мелкие семена. Леонардо наблюдал линии тока с помощью маркеров – мелких семян (по-видимому, предварительно замоченных, чтобы они не всплывали). При проведении исследований он смог заметить нетривиальный эффект: как следует из анализа распределения линий тока, на выходе из отверстия реальное сечение потока меньше чем размер отверстия.

«Чтобы увидеть, как вода в сосуде выходит через отверстие на дне, возьми два четырёхугольных куска стекла в 1/4 локтя и прикрепи то и другое параллельно друг другу на расстоянии двойной толщины лезвия ножа, укрепив края с трёх сторон воском. Далее, с четвёртой стороны наполни прозрачной водой, в которую брошены мелкие семена, плавающие на всех уровнях этой воды. Затем ты сделаешь маленькое отверстие в дне и дашь выход воде. Движение семян даст тебе понятие, какая вода с большей скоростью течёт к отверстию и откуда она движется». С.А. 81 а

Этот небольшой схематический рисунок Леонардо да Винчи сыграл роль спускового механизма, или, говоря языком патентоведов, прототипа при разработке автором простого и надёжного устройства для обеспечения безопасности пассажиров при аварийном ударе автомобиля о препятствие. Более подробно устройство, ход исследований и результаты натурных испытаний описаны в разделе 6.2.

Следует отметить здесь также ещё одно исследование Леонардо по взаимодействию потоков при косом соударении (см. **Рис.14** в разделе Н-3.1. Гидродинамика). Один поток в эксперименте был подкрашен (для исследования процесса взаимодействия потоков воздуха Леонардо предлагал добавлять в один из них ароматическое вещество). Оказывается, при малых углах соударения струй воды, они не перемешиваются, а отражаются как при чисто упругом ударе! Одним из направлений работ Института гидродинамики СО РАН в 1960-1980-е годы было исследование процессов образования кумулятивной струи и сварки взрывом металлов при высокоскоростном косом соударении (см. **Рис.15**). При теоретическом описании процесса использовалась гидродинамическая модель. Важное значение для практики имело определение «области сварки» в координатах скорость соударения – угол соударения. Было установлено, что при малых углах соударения от-

сутствие сварки связано с отскоком пластин (в то время мы ещё не знали об исследованиях Леонардо). И как это он мог додуматься до постановки этой проблемы?

В заключение раздела следует отметить, как Леонардо да Винчи использовал маркеры в других областях.

- В акустике - для исследования эффекта резонанса:

«Удар по колоколу отзовётся в другом подобном колоколе; если звучит струна в одной лютне, отзывается подобная струна в другой; и ты можешь установить это, положив соломинку на струну второй лютни». Ms. A 22v

«Если ты ударишь по плоской доске, пыль на ней соберётся в маленькие кучки». Ms. A 32v

Порошковый метод, который теперь называется «методом Хладни», вновь открывшего его в конце XIX века, успешно используется при исследовании вибраций в пластинах.

• В анатомии - для определения формы и размеров желудочков сердца, полостей в мозгу. Для получения неискажённой картины Леонардо впрыскивал в изучаемые органы расплавленный воск [Quaderni V 7 r].

В истории науки можно отметить ряд ярких примеров того, как изобретение специфических меток процессов приводило к резкому прорыву в соответствующих областях. Так, наблюдение Броуновского движения частиц подтвердило молекулярно-кинетическую теорию; систематическое исследование цвета цветков гороха привело Менделя к открытию законов наследственности, к возникновению новой науки – генетики; изотопы успешно применяются в физике, химии, биологии, технике.

3.3.5. Ограничения экспериментального метода

Каждый экспериментатор считает, что он получает в своих опытах достоверную информацию. Однако, / *«...опыты обманывают тех, кто не постиг их природы, ибо опыты, казавшиеся тождественными, часто весьма оказывались различными».* Ms. I, 102 v. Очень часто результаты одного экспериментатора не совпадают с результатами других исследователей, полученными на подобных установках и вроде бы в аналогичных условиях. Причина расхождений обычно кроется в существовании особенностей установок и в различии значений неучтённых, а потому и неконтролируемых параметров. Следующую цитату из Леонардо следовало бы написать большими буквами в лекционных аудиториях университетов, где готовят будущих учёных (на итальянском языке или в переводе):

"La natura e piena d'infinite ragioni, che non furono mai in isperienza". Ms. I, 18r.

«В природе существует неограниченное количество связей (причин), чего никогда не бывает в эксперименте».

В качестве примера, наглядно подтверждающего это очень важное указание Леонардо да Винчи, давайте рассмотрим вопрос о прочностных характеристиках материалов, которые закладываются в расчёты конструкций и аппаратов специалистами различных областей. Обычно эти характеристики получаются на установках определённого типа в некоторых, зачастую недостаточно полно оговоренных, «стандартных» условиях. Насколько обосновано использование табличных значений прочностных характеристик материалов для особых условий нагружения, которые могут существенно отличаться от условий, при которых данные характеристики были получены? Ниже перечислены некоторые параметры, которые 100 лет назад относились фактически к числу неконтролируемых, но изменение которых может привести не просто к количественным изменениям, но и к качественно отличным эффектам:

- масштабный эффект (заниженные значения прочности в больших образцах; достижение значений, близких к теоретической прочности, в «усах», кристаллах микронного диаметра);

- ориентация кристаллов, текстура;
- влияние окружающей среды (резкое повышение прочности кристаллов соли при нагружении в воде из-за растворения поверхностных трещин – опыты Иоффе 1920-х годов; поверхностно-активные вещества, эффект Ребиндера, повышение скорости резания);
- воздействие облучений (радиационные дефекты; аномальные диффузионные эффекты, обнаруженные в наших исследованиях Сихотэ-алинского метеорита)
- неодноосное напряжённое состояние (потеря устойчивости длинного стержня при сжатии; сильная зависимость «теоретической» прочности – величины фундаментального значения для физики прочности и приложений - от вида напряжённого состояния, см. раздел 6.4).

Задача – Леонардеска

74. Исследуйте, как изменится время вытекания песка из песочных часов при наличии вибраций. Как эффект зависит от частоты? Объясните эффект.

3.4. Анализ

Целью любой науки, будь то естественная наука или психология, является согласование данных экспериментов и приведение их в логическую систему.

Альберт Эйнштейн

Эксперимент является главным источником информации о процессах в природе, но только лишь посредством анализа экспериментальных данных учёный получает научное знание. Особенно аккуратный анализ необходим там, где отсутствуют достоверные экспериментальные данные.

«Продукты умственной деятельности, которые не прошли через понимание, бесполезны, не помогают найти истину, а приносят вред: и, коль скоро такие рассуждения рождаются от скудости ума, то бедны всегда такие умозрители... Так бывает и вовеки будет с алхимиками, стремящимися создать золото и серебро, и с инженерами, которые хотят, чтобы стоячая вода сама по себе была источником вечного движения, и с колдунами и заклинателями, стоящими на вершине глупости». Quaderni I, 13 v.

3.4.1. Множество связей

Существование в любом реальном процессе множества связей, и, соответственно, «причин» является одним из важных положений в системе концепций Да Винчи. Он считал, что целью научного исследования должно быть изучение явления в целом, с возможно более полным учётом влияния всех параметров. Способствует ли такой подход получению научного знания? И да, и нет. Поиск решения в виде теоретической или эмпирической формулы, устанавливающей связь между параметрами процесса, стал основным направлением в после-Ньютоновской науке. Конечно, гораздо легче получить соотношение между двумя-тремя, чем между 10 параметрами. Поэтому учёт в формульной науке параметров, характеризующих эффекты второго порядка, считается обычно нежелательным усложнением. И напротив, исследователь может прийти к обнаружению новых эффектов и незамеченных ранее предельных случаев процесса, именно не будучи ограниченным рамками упрощенной, то есть неполной в принципе, модели.

А. А. Гастев, автор одной из лучших научных биографий Леонардо да Винчи [6] , красиво обыграл для описания этой особенности его научного метода необычное для научной литературы слово «оговорка»: «А ведь именно тонкости, эти бесчисленные оговорки – свидетели мужества и одновременно боязни исследова-

теля, пробирающегося мелководьем за истиной, – свидетельствуют, что Леонардо не жертвует ни одной частью добытого опытом знания ради непротиворечивости суждения. Однако противоречие или оговорка – не только препятствие, задержка или удлинение кратчайшего пути: напротив, истина другой раз скрывается на окольных тропинках, и через оговорку нередко удаётся достичь нового изобретения. Что такое кулачки и эксцентрики, как не оговорка среди деталей машин, неудачные дети в семействе, гордящемся совершенной круглостью и прямизной?... Наконец, топтание Леонардо, его осторожность, сомнения, даже противоречивость в высказываниях - не есть ли это надёжные признаки новой науки, не стесняющей себя неразрушимою догмой или обязательным требованием стройности и красоты?».

3.4.2. Выделение для анализа отдельных эффектов

За первичным рассмотрением явления в целом должен следовать скрупулёзный анализ роли отдельных эффектов, отдельных параметров.



Рис.76

«Далее ты должен продолжать исследование в определённом порядке, то есть исследовать каждое положение по очереди, раздел за разделом, и тогда тебя поймут верно». Hammer 12 A-25v.Запись эта сделана была при изучении образования вихря в воде: Леонардо отслеживает при анализе, что происходит на трёх линиях тока, внизу, посередине и на поверхности, **Рис.76**, Ms. F 20 г. Наблюдения Да Винчи, выполненные невооружённым глазом, позволили ему отметить существенные особенности этого сложного процесса (см. комментарий к картине **Рис.70** (См. раздел Иллюстрации) вхождения струи в спокойную воду в разделе 3.2. Информативный рисунок).

Поразительно, но иногда системное, шаг за шагом исследование различных эффектов растягивалось на многие годы. Больше всего времени (около 20 лет!) и сил Леонардо да Винчи потратил на выяснение вопроса об источниках воды высоко в горах. Более подробно эти его исследования обсуждаются в главе V. Ошибки Леонардо. Он смог отвергнуть общепринятое в то время объяснение, основанное на аналогии между макрокосмосом-Землёй и микрокосмосом-Человеком, предложив целый ряд оригинальных решений, проанализировав и показав их неэффективность. Среди рассмотренных им эффектов были такие непростые для анализа как притяжение луны, сифонный эффект, капиллярный эффект.

За детальным анализом отдельных сторон явления должен следовать синтез полученных данных, соотношений и эффектов. Именно таков путь к получению достоверного знания:

"Истина рождается из объединённого знания тех частей, которые, будучи соединены, дают целое». Windsor 19084 г.

3.4.3. Определения

«Не поступай так, как делают те, кто, не зная, как точно выразить нечто на его собственном правильном языке, прибегают к околичности и многословию, что приводит к большим недоразумениям» С.А. 206 v-a.

Мы думаем словами. Потому суть наших мыслей сильно зависит от того, какое понятие вкладывается в слова. Особенно важно это в научной работе. Во-первых, это важно для самого исследования. Если Вы пользуетесь ошибочными или недостаточно чёткими понятиями, то, не смотря на большой массив наблюдений и экспериментальных данных, шанс получения важных результатов мал. Во-вторых, разные исследователи

включают в одни и те же слова несовпадающие понятия. Весьма часто даже небольшие различия в понимании ключевых слов становятся причиной долгой и безрезультативной научной полемики. Вспомните «кризис в физике» в начале 1900-х, связанный с неприятием многими физиками концепций и выводов теории относительности и квантовой механики. Решающую роль в наведении порядка в физике сыграла разработка в 1920-х годах профессором Гарвардского Университета Перси У. Бриджменом «операционализма» [27] - одного из важнейших достижений теории познания. Позднее, в 1946 г., Бриджмен получил Нобелевскую премию за исследования по физике высоких давлений. Понятие, по Бриджмену, должно быть определено набором некоторых операций, экспериментальных, в частности измерительных, или мысленных, в частности вычислительных, фактическое выполнение которых или мысленное их прослеживание позволяет выявить его смысл. Поразительно, но в известных мне учебниках физики как в России, так и в США важность операционального определения понятий даже не упоминается.

Наглядным и понятным на уровне школьников старших классов примером неаккуратного, а по существу, неверного введения и использования понятия является определение силы **F = m a** в школьном курсе физики. Это, как говорится в учебниках, - Второй закон Ньютона, или Основной закон механики. Но ведь Исаак Ньютон (я прививал своим ученикам в ФМШ уважение к законам природы, цитируя первоисточники) писал иное. В «Математических Началах Натуральной Философии» (1687г.) вводятся сначала понятия «Количества движения как мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе» и «Приложенной силы – действия, производимого над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения». Второй закон движения в формулировке Ньютона звучит следующим образом: «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению прямой, по которой это сила действует», или в математической записи $\Delta (m V) = F \Delta t$. Сила, определяемая из Второго закона в формулировке Ньютона как

$F = \Delta (m V)/\Delta t$, равна **F = m a** только в предельных случаях, когда масса не зависит от скорости или от времени. То есть, школьное определение «не работает» при описании процессов типа торможения вагона при засыпании в него угля и становится неверным при больших скоростях, когда $m = m_o\sqrt{(1 - V^2/C^2)}$. Да, переучить позднее можно, но зачем так относиться к Основному Закону Механики и к его автору? *Проще - не значит лучше!* Нелепо предполагать, что 14-16-летние школьники гораздо легче поймут и усвоят, что сила равна произведению массы на ускорение, чем истинную формулировку Ньютона. Но какой-то автор учебника где-то в середине позапрошлого века ввёл такое упрощенное определение и оно, перекочёвывая из одной книги в другую, просуществовало доныне.

В отличие от авторов нынешних учебников и тех, кто этими учебниками ограничивается, Леонардо да Винчи был очень внимателен к определениям научных понятий. Особый интерес представляют его анализ понятий в математике, его аккуратное, почти «по Бриджмену», определение понятий, имеющих основополагающее значение для оптики и живописи.

«Точка неделима; линия есть перемещение точки; точки – границы линии». В.М.176 г

Немедленно вслед за этим извлечением из «Элементов» Эвклида Леонардо записывает по аналогии определения момента и времени, основных понятий для описания движения:

«У момента нет длительности. Время есть движение момента, и моменты – границы отрезка времени». В.М. 176 г

Следующие четыре определения характеризуют особое внимание Да Винчи-художника к определениям поверхности, математическому и естественному. Эти определения устанавливают фактически и научную основу знаменитого изобретения Леонардо да Винчи в живописи – сфумато, нерезких, размытых очертаний тел на его картинах:

«Поверхность есть движение линии, и линии – границы поверхности. Поверхность не имеет объёма; поверхности – границы тел». В.М. 176 г.

«Граница одного тела есть начало другого... Границы двух тел, соединённые вместе, представляют собой взаимный обмен поверхностями одного и другого тела, как воды и воздуха». В.М. 132 г.

Обратите внимание на последнюю цитату. Переход от математического определения границы двух тел к реальному и очень наглядному примеру перехода от жидкости к воздуху лишь выглядит простым и естественным. Как мы понимаем теперь, граница эта включает в себя слой жидкости с теми же свойствами, что имеются в объёме, очень тонкий поверхностный слой жидкости с расстояниями между молекулами, отличающимися от средних по объёму, и с особыми свойствами, и, наконец, переходный слой воздуха с градиентом концентрации пара от насыщенного состояния до средней влажности. Вот что на самом деле определяет сфумато в этом случае!

И в заключение ещё одно красивое определение, относящееся к чистой математике (похоже, до Леонардо такого не было):

«Параллельные линии бывают четырёх видов. Первый представляет собой прямые линии на равном расстоянии; второй – две эквидистантные линии равной кривизны; третий – две эквидистантные линии переменной кривизны, такие как параллельные линии вокруг общего центра; четвёртый образует одна линия, закручивающаяся вокруг точки на равном расстоянии, такова окружность /в последнем случае Леонардо имел в виду спираль с фиксированным в радиальном направлении зазором между витками – М.М./ *вокруг центра круга».* Ms. G 59 r.

3.4.4. Гипотезы

Для меня гипотеза есть заявление, истинность которого временно предполагается, но значение которого должно быть вне всякого сомнения.

А. Эйнштейн

Формулировка гипотезы является важным этапом на пути научного познания: наблюдения ⇒ эксперимент ⇒ теория ⇒ правдоподобные предположения ⇒ гипотезы ⇒ проверочный эксперимент, который либо отвергает, либо подтверждает, либо уточняет высказанную ранее гипотезу ⇒ новое знание.

Большая часть Кодекса Хаммера посвящена исследованиям Леонардо да Винчи различных проблем, связанных с движением воды. На странице Кодекса 16A-21v с заглавием *«25 заявлений»* на поле перед началом текста написано слово ***coceptione***, которое может в зависимости от контекста переводиться как ***концепция, идея, гипотеза***. Несомненно, что здесь Леонардо стремился систематизировать концепции о процессах, происходящих с водой, и их причинах. Ниже выписаны некоторые из этих заявлений с нумерацией Леонардо:

«1. Вода, если не стекает, то сама по себе не движется.

2. Та вода находится на большей высоте, что более всего удалена от центра земли.

5. Вода в солёных морях является пресной на больших глубинах.

6. Воды непрерывно движутся с самых больших глубин к вершинам гор, не согласуясь с законами для тяжёлых тел; и в этом случае их поведение аналогично движению крови в животных, которое происходит от моря - сердца и течёт к вершине-голове, так что, если, например, сосуд в носу повреждён, из него вытекает кровь.

7. Когда вода вытекает из повреждённого сосуда в земле, она ведёт себя в соответствии с законами для тел тяжелее воздуха и всегда стекает вниз.

11. Сосуды воды бесконечно разветвляются в теле земли.

13. Если бы можно было сделать колодец, проходящий через центр земли до противоположной поверхности, и направить в колодец поток воды, то головная часть потока прошла бы через центр элементов без отражения и излила бы на противоположной стороне столько же воды, сколько вошло в колодец.

16. Вода, поднимаемая собственным движением или с помощью инструмента, никогда не будет весить больше, чем вода, которая вызвала этот подъём, потому что у движителя всегда больше силы, чем у передвигаемого тела.

19. Вода не имеет веса в воде, если не движется».

Оценим роль каждого из этих заявлений в исследованиях да Винчи.

Заявление 1. Фактически это не требующая доказательств отправная точка к выяснению причин движения воды в различных процессах.

Заявление 2. Леонардо ко времени составления Кодекса Хаммера (1508-1510 г.г.) уже пришёл к верному пониманию того, что общепринятое представление о несовпадении центров масс воды и земли является ошибочным (см. раздел 5.3-в. в Главе Н-5. Космология). Так что Заявление 2 выписано здесь не как проблема для изучения, а, опять же, в качестве отправной точки для изучения деталей причин движения воды. В первую очередь, его интересовал вопрос о происхождении источников воды с гор, поскольку движущаяся вода была в то время основным источником энергии, и стекание воды с гор являлся наглядным и убедительным примером вечного движения в природе.

Заявления 5,6,7,11. Все они относятся к проблеме происхождения воды с гор, которой Леонардо занимался в течение нескольких лет. В главе V. Ошибки Леонардо мы рассмотрим более подробно, как он пытался найти естественные механизмы, которые могли бы обосновать столь созвучную духу Человека периода Ренессанса аналогию между Землёй – Макрокосмом и Человеком – Микрокосмом, прежде чем пришёл в правильному решению. Здесь же следует подчеркнуть, что в Заявлении 6 при формулировке исходной гипотезы, предложенной ещё Платоном, Леонардо специально подчёркивает, что предполагаемый в ней подъём воды по жилам в теле земли до вершин гор не согласуется с законами для тяжёлых тел.

Заявление 13. Это типичный пример мысленного эксперимента процесса, протекающего в идеальных условиях, что позволяет предсказать два важных эффекта: отсутствие отражения при прохождении струёй центра земли и достижение ей поверхности земли на противоположной стороне. Фактически, предложенный мысленный эксперимент является красивой демонстрацией Принципа Сохранения Энергии.

Заявление 16. Это ещё один пример применения Принципа Невозможности Вечного Двигателя к решению важной практической задачи подъёма воды.

Заявление 17. Гипотеза, имеющая важное значение при анализе процессов движения воды. Следует отметить, что термин «вес» в то время не имел того однозначного определения, которое даётся ему в современной физике. В данном контексте он означает «неуравновешенную силу давления».

Не всегда, не во всех областях научных исследований Леонардо да Винчи достоверность выдвигаемых им гипотез могла быть проверена посредством последующих экспериментов. В таких случаях гипотеза, сформулированная на основе представлений предшественников, собственных наблюдений и экспериментов, оказывалась конечным результатом работы, рекомендацией для самого себя на будущее и/или для последователей, где и как следует искать решение проблемы.

Гипотезу о далёком будущем Земли, сформулированную на очень ограниченной базе данных о географии (ещё не была открыта Америка) и внутреннем строении нашей планеты, мы обсуждали ранее в главе Н-6. Земля как живой организм.

Физиология также была в зачаточном состоянии в XV веке. Важнейшие современные достижения в этой науке базируются на точных экспериментальных методах физики и химии. Поразительно, как Леонардо да Винчи смог прийти к важным гипотезам и заключениям, предвосхитившим на 300-400 лет развитие науки, на основе фактически единичных наблюдений (эксперимент с прокалыванием спинного мозга лягушки; атеросклероз - см. раздел Н-9.2. «Что такое человек? Что такое жизнь?»).

3.4.5. Аргументы за и против

Обсуждение различных аспектов изучаемой проблемы в форме внимательного, взвешенного и детально обоснованного анализа аргументов *за и против* есть простой и очень полезный метод исследования. Литературная форма диалога часто встречается в трудах античных и средневековых авторов вплоть до Галилея. К сожалению, в наше время такая форма является обычной при обсуждении представляемой авторами исследований на семинарах, конференциях, на диссертационных советах, но не в статьях (хотя можно отметить примеры успешного использования формы диалога авторами научно-популярных книг). А ведь приём диалога позволяет провести детальный анализ проблемы заранее, до вынесения результатов на обсуждение. Реально такой метод исследования может проводиться с использованием аргументов как реально существующих сторонников альтернативных подходов, так и в форме беседы с воображаемым оппонентом, который шаг за шагом отслеживает обоснованность приводимых автором данных наблюдений, экспериментов и трактовок. Академик А. Б. Мигдал особо подчёркивал необходимость учитывать наличие специфического психологического эффекта в работе исследователя по отношению к аргументам «за» и «против» развиваемой концепции: «Начиная работу, учёный невольно ищет доводы «за», но он должен помнить, что главное – искать доводы «против», подтверждающие соображения возникают сами, помимо сознания. Ничтожная ошибка вначале может привести к катастрофе, и успокаивающие аргументы защищают эту роковую ошибку от пристального критического взгляда» [11].

Леонардо да Винчи успешно использовал метод *аргументов за и против* в научных исследованиях. Многие его работы были фактически пионерскими, потому дискуссии с воображаемым оппонентом сыграли важную роль в обосновании новых моделей и теорий Леонардо. Из раздела Н-6. Земля как живой организм сюда вынесено обсуждение проблемы происхождения ископаемых морских раковин на горах в Италии. Он выдвинул и обосновал гипотезу о том, что раковины не принесены в горы Всемирным потопом, а свидетельствуют о том, что в давние времена долины и горы Италии были дном моря. Без аккуратного анализа аргументов за и против при изучении этой проблемы просто нельзя было бы обойтись потому, что противоположное объяснение было предложено в Библии. Обоснование некоторых принципиально важных положений гипотезы Леонардо мы уже обсуждали ранее в главе Н-5. *Земля как живой организм*. В этом разделе мы рассмотрим, как ряд важных положений обосновывается в форме диалога с оппонентом, защищающим освящённое Церковью объяснение, что раковины на горы принесены Всемирным потопом. Несомненно, оппоненты у Леонардо были не только воображаемые, но и реальные.

«Если ты скажешь, что раковины, которые находят в настоящее время в Италии очень далеко от моря и притом на большой высоте, отложены там Потопом, я отвечу, что, поскольку Потоп покрыл самые высокие горы на семь кубит /древняя мера кубит равнялась около 0.5 м- М.М./, как об этом пишет тот, кто измерял, эти раковины должны были бы находиться не со всех сторон гор, и не всегда на одном уровне, слой за слоем.

Если ты скажешь также, что природа этих раковин заставляла их держаться вблизи от берега, и потому, когда уровень моря стал подниматься, раковины последовали за уходящим берегом вплоть до самого высокого уровня, я отвечу, что моллюск сердцевидка есть существо малоподвижное, поскольку он не плавает... и может переместиться лишь на три-четыре локтя за день и при такой скорости не мог бы проползти от Адриатического моря до Монферрато в Ломбардии, расстояние в двести пятьдесят миль, за сорок дней, - как говорит тот, кто отмечал время.

А если ты скажешь, что волны принесли их туда, - это невозможно по причине их веса...

Если ты скажешь, что раковины были пусты и мертвы, когда их переносили волны, я отвечу, что в этих горах находят раковины парами и рядами, как это наблюдается в их условиях жизни». Hammer 8B-8v

Другой яркий пример исследования сложной проблемы в форме обсуждения аргументов за и против - объяснение голубого цвета неба - смотрите в главе V. Ошибки Леонардо, раздел 4.2 а.

Метод аргументов за и против достаточно легко можно вводить уже в младших классах: добывание нового знания в ходе столкновения разных точек зрения много более эффективно, чем столь обычный, к сожалению, в современной школе метод *впихивания в головы учащихся готовой информации*. Не знаю, насколько широко метод диалога используется в Российской школе преподавателями гуманитарных дисциплин, но в США в Иллинойской Академии Математики и Науки мне довелось присутствовать на уроке истории, когда группа, разделённая на сторонников противоположных подходов к проблеме, бурно и аргументировано обсуждала одно из важных решений Конгресса в начале XIX века, с голосованием и анализом того, как далее развивалась бы страна в случае принятия альтернативного решения. По-видимому, очень успешной такая форма должна быть при изучении экономики.

3.4.6. Аналогия

Сильной стороной научного метода да Винчи является постоянная готовность подметить сходство между различными явлениями и использовать характерные особенности, обнаруженные в одном процессе, для поиска аналогичных особенностей в другом процессе. Если Природа определила развитие некоторого процесса в соответствии с определёнными законами, то весьма вероятно, что она использует те же самые или похожие правила в развитии другого, аналогичного процесса.

Одним из блестящих научных результатов Леонардо да Винчи является утверждение о волновой природе света. Известно, что И. Ньютон, не смотря на собственные успешные исследования интерференционных эффектов, был сторонником корпускулярной теории и никак не хотел согласиться с доводами Гюйгенса. Посмотрим, как Леонардо да Винчи пришёл к выводу о волновой природе света на основе внимательного изучения процесса прохождения волн от камешков, брошенных в воду, процесса, который, несомненно, видели сотни учёных до него. Леонардо заметил особое свойство волнового процесса, а именно, что волны от разных источников после прохождения одной сквозь другую, распространяются далее неискажёнными, **Рис. 31**, Hammer 14 B-14v:

«Если бросишь одновременно два камешка на некотором расстоянии в спокойную воду, то увидишь вокруг мест удара два множества кругов, которые расширяются, встречаются, проходят друг сквозь друга, причём центр каждого остаётся в точке удара. Причина состоит в том, что, не смотря на очевидность движения, вода не сдвигается со своего места, так как ямки, которые сделали в ней камни, тотчас же сомкнулись, и это возникшее от внезапного размыкания и замыкания воды движение производит в ней некоторое сотрясение, которое скорее можно назвать дрожанием, нежели движением. В подтверждение того, о чём я говорю, посмотри на соломинки, которые вследствие своей лёгкости находятся на поверхности воды, - они не смещаются волнами, проходящими под ними.

Хотя звуки, проникающие сквозь воздух, кругообразно расходятся от своей причины, круги, распространяющиеся от различных исходных точек, встречаются друг с другом без какой бы то ни было помехи и проходят один через другой, всегда сохраняя в качестве центра свою причину». Ms. A 61 r.

«В воде при ударе образуются круги вокруг точки удара; голос в воздухе создаёт то же на б льших расстояниях; свет идёт ещё дальше». Ms. H 67 r

«Каждое тело наполняет окружающий воздух своими изображениями, и каждое изображение появляется полностью и со всеми своими частями. Воздух заполнен бесчисленным множеством лучей, которые пересекаются, не смещая друг друга, и которые воспроизводят, где бы их ни принимали, истинную форму своей причины». Ms. A 2v.

Приведённые цитаты позволяют утверждать, что представления Леонардо да Винчи о волновой природе звука и света - это не просто случайная догадка, как считал С. И. Вавилов 5 . Нет, это результат открытия двух фундаментальных особенностей волнового, и только волнового процесса. Первая особенность - наличие двух типов движения, а именно, распространение волны во все стороны из центра возмущения и «дребезжание» частиц среды при прохождении волны. Вторая особенность – волны, в отличие от частиц, проходят одна сквозь другую без искажения.

Если внимательно посмотреть на крупные научные результаты Леонардо да Винчи, можно отметить ещё некоторые, также основанные на использовании аналогий. Перечислим лишь несколько наиболее ярких примеров, не нуждающихся в комментариях.

- *«Плавание по воде учит человека, как летают птицы»*, С.А. 66 г.
- *«Некоторые говорят, что солнце не горячее, потому что его цвет не похож на цвет огня, но значительно бледнее и светлее. На это можно ответить, когда бронза расплавлена, её цвет больше напоминает цвет солнца, а когда она менее горяча, цвет более похож на цвет огня»*, Ms. F 34 v.
- Прогрессивный для того времени механистический подход Леонардо к анатомии и физиологии человека.
- У животных имеется встроенная система контроля, «обратной связи» - отсюда проистекает идея Леонардо о разработке автоматов (см. доклад Б. Дибнера «Леонардо: Пророк Автоматизации» [42]).

Следует подчеркнуть, что, успешно используя аналогии в своих исследованиях, Леонардо указывал, что *«Сходство не означает равенство»*. Ms. I, 16 г. Или, в образной формулировке И.Тамма, выдающегося физика – теоретика, «Аналогия обладает способностью мстить». Так, Леонардо, успешно используя в исследованиях аналогию между движением тела в воде и в воздухе, специально изучал эффекты, связанные с различием в силе сопротивления при движении тела в этих средах [Ms. E 28 v.] и со сжимаемостью воздуха [Ms. E 71 v.]. А на попытки обосновать использование аналогии между телом человека – микрокосмом и Землёй – макрокосмом для объяснения происхождения воды на вершинах гор Леонардо да Винчи затратил около 20 лет прежде чем смог отвергнуть модель, сформулированную ещё Аристотелем и Сенекой (см. главу IV. Ошибки Леонардо).

<u>*Задачи – Леонардески*</u>

75. Попробуйте, глядя на облака, зарисовать возникшие ассоциации.

76. Проведите сравнительный анализ «Преступления и Наказания» Ф. М. Достоевского и романа «Граф Монте Кристо» А. Дюма (когда-то такое сочинение написал в 10-м классе мой сын Алексей).

77. Рассмотрите достоинства и ограниченность построенных по аналогии представлений о теплороде; о сходстве между поверхностным слоем жидкости и растянутой резиновой плёнкой; о капельной модели ядра Я.И.Френкеля?

78. Совет учителю физики: постройте изложение раздела Магнитостатики в школьном курсе физики по аналогии с уже изученной темой Электростатики с включением теоремы Гаусса и теоремы Стокса, без которой теряется красота и глубина понимания этих разделов.

79. Предскажите химические свойства Менделевия Md_{101}.

3. 5. Интуиция

В первые годы моей работы по изучению научного метода Леонардо да Винчи такого раздела не было в плане исследований. Появился он лишь после того, как на докладах в Новосибирском Институте Усовершенствования Учителей и в Объединённом Научном Центре Европейского Сообщества в Италии пессимистически настроенные оппоненты заявляли: «Как можно говорить о возможности понять метод Леонардо, если он был гений, и думал не как обычные люди, а интуитивно приходил к решению сложных проблем?»

3.5.1. Определение понятия «интуиция»

Давайте определим, какое содержание вкладывается в это понятие. В Энциклопедическом Словаре Вебстера даются следующие **определения интуиции**: 1) прямое восприятие истины, факта, и пр. независимо от какого-либо процесса обдумывания; 2) происходит от Латинского *intuit*, размышление, полное и глубокое рассмотрение; 3) внезапное озарение; 4) чистое, естественное знание, полученное не из обучения или логического вывода. Поразительное разнообразие в таком важном вопросе!

Как-то мы с внуком Антоном, когда ему было 6 лет, вспоминали давно прочитанный и полузабытый английский стишок Hickory-Dickory-Dock, и он предложил своё образное понимание того, что такое память: *«У меня в голове круги, на которых карандашом записано: один круг со словами, второй круг с музыкой, третий круг с картинками»*. Можно ли рассматривать эту его мысль как пример интуиции? Да, несомненно, это пример «чистого, естественного знания», никто не обсуждал с ним, что такое память. Но можно ли сказать, что эта мысль «полностью независима от какого-либо процесса обдумывания»? Конечно, нет. «Круги» в его определении явно происходят от грампластинок, которые мы часто проигрывали. По-видимому, проблема записи информации интересовала его, поскольку приблизительно через полгода в списке почемучечных вопросов он напечатал: «А как работает магнитофон? Что у него не плёнке?». Обсуждая сущность интуиции, её роль в процессе познания, условия проявления, и возможность развития этой характеристики мозга, мы будем иметь в виду **внезапное озарение**, которое в действительности **подготовлено предшествующим исследованием**, обычно скрытым от стороннего наблюдателя.

3.5.2. Схема акта интуиции

Попробуем шаг за шагом восстановить последовательность физиологических процессов, приводящих исследователя к интуитивному решению проблемы. Вы сможете скорректировать предложенную модель и полученные из неё рекомендации, если найдёте более детальный профессиональный анализ (раздел этот написан в 2001 году, а нейрофизиология – одна из наиболее бурно развивающихся наук).

Исследователь настойчиво пытается решить некоторую сложную проблему, завершает намеченный план исследований, но в пределах массива данных, стандартного для задач такого рода, решение не получается. Некий **«координатор»**, активный центр мозга, который управляет процессом решения проблемы, перебирает снова и снова элементы, относящиеся к проблеме, как в области наблюдений (они находятся в основном в правой полусфере больших полушарий мозга) и в области анализа (левая половина полушарий). Как устроен этот координирующий центр? Как он связывается с «пластинками» в упомянутой выше образной трактовке Антона, на которых записаны слова, музыка и рисунки, и взаимодействие которых благоприятствует возникновению искомой идеи? По-видимому, **«координатор»**– это комплекс, опирающийся на некий отдел «эмоционального» участка мозга, так как чувство жажды к проведению исследования, страстного ожидания получить удовольствие в результате построения изящной конструкции является, в конечном счете, главным стимулом учёного. Вторая часть комплекса, относящаяся уже непосредственно к данной задаче, должна состоять из весьма ограниченного набора элементов, включающих наиболее существенные особенности изучаемого процесса.

Контакт центра с элементами базы данных, относящихся к изучаемому процессу, представляет собой передачу сигнала вдоль существующих нейронных цепочек, причём при неоднократном обращении к элементу образуются, видимо, параллельные линии, благодаря чему повторные соединения с ним проходят легче, чаще и эффективнее.

Первичным в анализе физиологических процессов при решении задачи должно быть представление о том, что представляет собой на «нейронном языке» законченная мысль? Её можно изобразить как некий блок информации, записанный в виде цепочки связей между определёнными начальным и конечным элементами

[ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ]

Что такое на нейронном языке незаконченная мысль? Оборванная цепочка связей, причём место обрыва находится в возбуждённом состоянии (некомпенсированный электрический заряд?).

[ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—♂

Чем больше оборванных связей, тем в более возбуждённом состоянии находится мозг (конечно, если человек очень хочет найти решение), и тем выше вероятность перестройки. В ходе работы происходит обычно достраивание шаг за шагом мысли-цепочки до завершающей точки:

[ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ→©→©→©]

Такое развитие представляет собой обычный, спокойный ход решения задачи. Но есть другой вариант развития процесса. Обследование координирующим центром данной оборванной цепочки обеспечивается усилением притока крови к соответствующим участкам мозга. При этом оказываются в возбуждённом состоянии также и соседние нейронные цепочки, не относящиеся к исследуемой базе данных. В результате должны возникать кратковременные, и, как правило, непрочные, соединения между «мыслями» из самых разных областей. Незавершённая мысль посредством «проскакивания искр» ⚡ последовательно подключается к другим, уже существующим достаточно длинным цепям

[ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—♂ ⚡ ♀ —ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ]

[ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ]

Если некое из этих продолжений имеет сходство с какими-либо особенностями изучаемого явления, оно рассматривается координирующим центром полезным для решения поставленной задачи, вследствие чего на месте формирования новой связи возникает вспышка ☼

[ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—☼—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ]

и волна возбуждения, распространяющаяся по вовлечённым в процесс участкам мозга, вызывает цепную реакцию образования новых связей:

[ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—☼—ⓒ—ⓒ—♂ ⚡ ♀—ⓒ—ⓒ—ⓒ⚡—©—©⚡ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ—ⓒ]

Наличие систематизированных знаний во многих областях благоприятствует получению в процессе обдумывания многочисленных непредусмотренных заранее связей с другими областями, и, когда какая-то из этих связей выявляет полезную аналогию, выстраивается новая дорожка, которая приводит к неожиданному красивому решению проблемы.

Говоря о возникновении контактов между различными цепями нейронов, следует подчеркнуть, что сама физиологическая структура процесса мышления должна приводить к тому, чтобы некоторые элементы одновременно принадлежали разным областям знаний, формально может быть и не очень близким. Так, например, было бы чересчур расточительно и неразумно формировать в области зрительной памяти отдельные ячейки для каждого шара, увиденного в процессе жизни. Подобным образом, дифференциальное уравнение гармонических колебаний естественным образом описывает многие колебательные процессы, такие внешне не очень близкие, как, например, колебания маятника, грузика на пружине, струны скрипки, электрического тока в цепи ёмкость-индуктивность. В таких случаях и пробивать изоляцию при формировании искр не нужно, координирующий центр может наткнуться на новую дорожку просто при переборе уже имеющихся контактов.

Важнейшим моментом акта интуиции является именно этот переход из исследуемого массива в другую

область, где некие близкие по существу эффекты уже детально исследованы, известны. Это очень похоже на использование шахматистом ходов, которые позволяют ему использовать «домашние заготовки» или переводят игру в известный выигрышный эндшпиль.

Воспринимается этот переход, кажущийся неожиданным, но фактически хорошо подготовленный, как внезапная искра, вспышка, которая, коль уж мы заговорили об аналогии с электрическими цепями, происходит при включении цепи. *«Каждое действие в природе происходит по кратчайшему из возможных путей!»* Quaderni IV 16r.

Итак, мы пришли к следующей схеме структуры акта интуиции, **Рис.76**.

Не знаю как читателю, но мне самому построенная схема интуиции нравится. Как говорил знаменитый французский математик Пуанкаре, **«полезные комбинации всегда самые красивые»**.

Дорогой Антошенька, спасибо за красивую идею!

3.5.3. Примеры открытий по интуиции

3.5.3-а. Волновая природа света

Одним из наиболее ярких научных результатов Леонардо да Винчи является утверждение о волновой природе света (см. параграф Н-4.6. Волновая природа света). Сохранившиеся записи Леонардо позволяют достаточно достоверно сопоставить его путь к этой идее с предлагаемой схемой.

Координирующий центр решения проблемы = стремление понять различные эффекты света, их природу и приложить полученные знания к живописи.

Анализируемый массив данных огромен; детальные наблюдения различных оптических явлений (правое полушарие коры головного мозга), как правило, сопровождаются анализом (левое полушарие).

Контакт с неким похожим наблюдением из **другой области** ≈ наиболее близкой областью явлений в данном случае является наблюдение волн на воде, их возникновения, отражения, свободного прохождения одной через другую, удара о берег, и др. Достаточно велик даже выбор «мостиков» между этими областями для возникновения идеи о волновой природе света. Мы можем только гадать, что на самом деле подтолкнуло Леонардо к такому неожиданному выводу. Возможно, что это было изучение явлений, в которых эти две области были объединены, как, например, в явлении отражения света от волн на воде:

«Бесчисленные изображения, отражаемые от бесчисленных волн моря солнечными лучами, ударяющимися об эти волны, являются причиной, почему на поверхности моря получается сплошной и обширнейший блеск», B.M. 94 v.

Недостающее звено, завершающий аккорд = наблюдение и установление общности закономерностей волн на воде, звука и света. О неслучайности, обоснованности вывода о том, что отмеченный эффект свидетельствует об общности природы столь различных на первый взгляд процессов, свидетельствует следующая запись Леонардо: *«лучи пересекаются без смещения друг друга»* Ms. A 2v. Сделана она была в той же рукописи Ms. A, что и вывод о волновой природе звука и света Ms. A 61r., но значительно раньше. Притом по форме это констатация важного факта, лежащего в основе «лучевой», или «геометрической» оптики.

3.5.3-б. Предсказание Бальмера

Конечно, интуитивные решения могут приниматься не только в образном, но и в логическом отделе мозга. Приведу пример фундаментального открытия в спектроскопии и атомной физики, которое было сделано в

1885 году швейцарским учителем Йоханом Бальмером (1825 – 1898). В то время были известны лишь 4 линии спектра водорода, и Бальмер обнаружил, что длины волн λ_n этих линий с высокой точностью соответствуют расчёту по выведенной им простой эмпирической формуле $1/\lambda_n = c\,(1/n^2 - 1/m^2)$, где **c** – некая константа, **n** = 2 , а **m** = 3, 4, 5, 6 для соответствующих линий. Бальмер был поражён математической красотой этого соотношения и предсказал, что в спектре водорода должна быть линия с **m** = 7, а также серии линий с **n** = 1 и 3 . Эти серии были вскоре обнаружены в ультрафиолетовой и инфракрасной частях спектра, а сама формула получена Нильсом Бором в 1913 г. в предложенной им теории устойчивых энергетических состояний атома.

3.5.4. Организация условий, благоприятных для интуитивных решений

Давайте послушаем сначала совет Леонардо, основанный, несомненно, на его собственной практике (цитата несколько сокращена):

"Я не премину поместить среди наставлений новый способ рассматривания; хоть он и может показаться тривиальным и почти абсурдным, тем не менее, он очень полезен, чтобы подвигнуть ум на разные изобретения. Это бывает, если ты рассматриваешь стены, запачканные разными пятнами, или перемешанные разные камни, пепел огня, облака, грязь. Если ты почти готов изобрести, придумать какую-то картину, ты сможешь там увидеть подобие различных пейзажей, разные битвы и бесконечно много таких вещей, которые ты сможешь свести к цельной и хорошо представляемой форме, к вещам, которые станут причиной твоей славы, так как неясными предметами ум побуждается к новым изобретениям». Ash. I, 22 v.

В виде, несколько скорректированном для работы учёного, этот совет Леонардо да Винчи означает полезность переключиться, когда Вы почти готовы изобрести, найти решение, от непосредственного обдумывания проблемы, на что-то наполненное неясными предметами, побуждающее к возникновению ассоциаций, аналогий. Интересно, что химик Фридрих Кекулé в 1865 г. пришёл к идее структуры бензола C_6H_6 в виде кольца с замкнутыми вокруг шести атомов углерода связями, когда, сидя у камина, смотрел на длинные языки пламени, извивающиеся как змеи, и вдруг в его воображении возникла змея, которая держит себя за хвост (см. [59]).

Ночные озарения

«Я доказал на собственном опыте, что, лёжа в кровати в темноте, весьма полезно пройтись мысленно по изученным формам или важным проблемам, требующим особых остроумных решений; это упражнение полезно также для запоминания». B.N. 2038, 26r. «Почему предмет, дело лучше видится во сне, чем после того как проснулся»? B.M. 278 v.

Д. И. Менделеев в 1869 году пытался организовать упорядоченную систему химических элементов. Однажды он лёг спать после безуспешной попытки систематизации элементов по атомной массе. Позднее он записал: «Я увидел во сне таблицу, в которой все элементы попали на нужное место. Только в одном месте в последующем понадобилась поправка» (цитируется по [59]). Когда через несколько лет был открыт гелий, он занял то место в таблице, о котором говорил автор Периодической Системы Элементов. Нашлись в ней и ячейки для трансурановых элементов.

3.5.5. Развитие сверхсознания

На основе предложенной модели интуиции можно сформулировать набор рекомендаций для организации структур в мозге, которые сделают его более подготовленным для решения сложных проблем в режиме интуиции. При этом следует обеспечить эффективное взаимодействие образного и логического мышления.

1. Жажда познания

«Так же как еда без желания вредна для здоровья, так и занятия наукой без желания портят память и ничего в ней не оставляют» BN 2038 1b

Первое и главное, необходимое условие для успешной согласованной работы образных и логических конструкций мозга – проблема должна быть очень интересной, человек должен быть *целиком поглощён* этой проблемой. Внутренняя потребность заставляет его возвращаться снова и снова к поиску новых подходов и к внимательному пересмотру эффектов, которые ранее либо вообще не рассматривались, либо считались несущественными. Озарение приходит лишь после интенсивной работы. Из записных книжек Леонардо видно, что он многократно возвращался к изучению интересовавших его вопросов, причём обычно независимо от предыдущего анализа.

Очень эффективным для того, чтобы лучше почувствовать суть изучаемого процесса, является способ «представить себя бревном», машиной, электроном, то есть телом, которое испытывает некие воздействия в процессе. Эта рекомендация является одним из наиболее существенных положений системного подхода к решению сложных задач по физике, успешно используемого учащимися Новосибирской Физматшколы (см. Приложение).

2. Формирование систематизированной базы данных

Нейрофизиологический механизм упорядочения и систематизация информации осуществляется посредством активного участия обеих половин коры больших полушарий и формирования прочных связей между ними. Леонардо подчёркивает важность совместного образного представления и достоверного описания объекта:

«И ты, намеревающийся словами явить фигуру человека во всех отношениях, оставь это намерение, потому что, чем более ты будешь углубляться в описание частей, тем более будешь смущать дух читателя и тем более будешь удалять его от знания описываемых вещей; потому необходимо рисовать и описывать» Fogli A, 14 v.

Мы уже обсуждали в разделе 2.3 Системность, как Леонардо упорядочивал собираемые данные. Следует добавить к сказанному ранее, что процессе систематизации знаний должен сопровождаться анализом согласия или противоречия между наблюдениями и их объяснением.

Джордж Дюваль, один из основателей Физики Ударных Волн, в лекции о проблемах профессиональной подготовки учёных обратил внимание на интересный биофизический эффект, связанный с хранением идей в базе данных и их возможным использованием в интуитивном поиске решений задач из других областей: «Имеются убедительные свидетельства того, что в системе хранения данных в мозге со временем появляются «дыры», что приводит к перемешиванию субъектов. У этого эффекта есть простое физическое обоснование: барьеры, определяющие память, должны быть очень низки, и потому должен иметь место эффект «диффузии». В результате могут возникать ассоциации концепций и возвращение долго хранившейся информации в новом контексте или с неожиданными видоизменениями» 45. Следовательно, вследствие этого эффекта, интуиция, способность к нахождению нестандартных решений, всё ярче проявляется по мере накопления идей, концепций, опыта, приобретённых в разных областях знания. Можно сказать, что здесь лежит физиологический механизм мудрости не только в научной работе, но и просто в житейском смысле. Увы! Похоже, что тот же механизм диффузионного размывания барьеров, определяющих сохранение в мозге знаний и опыта, при более интенсивной "утечке" становится в старости причиной характерных психических расстройств. Такая связь указывает на необходимость предельно осторожного применения лекарств при бессоннице, перевозбуждении и при других не слишком серьезных проблемах.

3. Тренировка сверхсознания

Человеческий мозг запрограммирован на самостоятельное получение знаний. И не нужно изобретать для тренировки творческих способностей каких-либо специальных революционных методов. Нужно просто тренировать творческие способности в выбранной области так же, как тренируют мышцы и координацию движений пловцов, баскетболистов, фигуристов. Рассмотрим эту аналогию несколько подробнее.

- С чего начинается развитие спортсмена? – С интенсивной общей физической подготовки. Если область, в которой Ваши ученики стремятся достичь высоких результатов – наука, в частности, физика, химия, биология, что является аналогом общей физической подготовки? – Естественно, система базовых знаний и навыков. Причём, требуется не формальное знание основных законов, а их глубокое понимание, не формальное «прохождение» некоторого стандартного практикума, а творческий подход к изучаемым процессам вплоть до предложения альтернативных методик исследования.

- Подготовка балерин и спортсменов высокого уровня заключается в регулярных занятиях по развитию специальных навыков со всё возрастающим уровнем сложности решаемых задач. Что можно сопоставить такой методике в подготовке высококлассных специалистов в областях, где требуется глубокое понимание и применение физики при решении сложных проблем? Кстати, это не только исследовательская работа физика, химика, биолога, но и не менее ответственная работа врача и фермера, инженера и строителя. Рецепт очень прост: нужно целенаправленно развивать способности учащихся к решению нетривиальных проблем. Хороший учитель должен давать хорошему ученику не только простейшие одно-формульные задачи для закрепления пройденного материала, но и «хорошие задачи», требующие творческой работы, а затем и должен помочь ему научиться самому ставить и решать такие задачи.

Советы учителям физики

Как показывает опыт физматшкол и учителей-лидеров, реального успеха можно достичь лишь при выделении на решение задач и исследовательскую работу примерно 2/3 всего времени, отведенного на изучение физики. Но возможности реализации такого режима работы зависят от типа школы: специализированная школа физико-математического профиля, либо работа в общеобразовательной школе с группой учащихся по специальной программе, либо индивидуальная подготовка – сюда же относится и самообразование студента, заинтересованного в развитии своих способностей. Подозреваю, что учитель общеобразовательной школы спросит: «А где же взять время на такую работу? Ведь программой отпущено мало аудиторных часов на физику». Да, время – это критический фактор. Между прочим, в Специализированной Физико-Математической Школе при Новосибирском Университете и в Illinois Mathematics and Science Academy – всемирно признанных лидерах в развитии творческих способностей учащихся к науке – физика занимает в расписании 8 -12 часов в неделю, включая работу на спецкурсе или над индивидуальным исследовательским проектом. Для сравнения, это составляет лишь 1/3-1/2 времени, выделяемого в специализированных балетных и спортивных школах для репетиций и профессиональных тренировок.

В практике учителей - лидеров в общеобразовательных школах России давно и успешно используются следующие приёмы работы: 1) перераспределение времени на преподавание физики и других предметов научного цикла в классе таким образом, чтобы значительную часть нового материала не преподносить в виде готовой информации, а добывать знание совместно в ходе обсуждения демонстрационных экспериментов и известных явлений, решения наглядных и практически важных задач; 2) организация спецкурса для учащихся, заинтересованных в углублённом изучении предмета; 3) недельные или месячные задания, составленные из задач повышенной трудности, для учащихся, заинтересованных в углублённом изучении предмета, с обязательным подробным анализом решений (в форме зачёта); 4) подготовка к участию в Олимпиадах; 5) участие в программе "Экспериментальные Исследовательские Задачи»; 6) работа в Заочных Школах НГУ, МФТИ и др.

В начале Приложения «Как решать задачи по физике» показаны примеры школьных задач различного уровня, от простейших, одноходовых, для освоения изучаемых по курсу формул, до комплексных, экспериментальных и оценочных. Интересно отметить, что выдающиеся физики Роберт Оппенгеймер и Эдвард Теллер практиковали при встречах специфический вид «творческого отдыха» - соревнование по решению оценочных задач 45 . Схема - шпаргалка «Как решать задачи по физике» разработана автором, успешно использовалась учащимися Новосибирской Физматшколы с начала 1970-х, и, несомненно, окажется полезной многим.

Среди сборников задач по физике, полезных для работы с творческими школьниками, следует выделить следующие:

«Задачи по физике» под редакцией О.Я.Савченко, Москва, Изд. «Наука», 1988. Учебное пособие для учащихся физматшкол и для самообразования. Включает много оригинальных задач, связанных с практикой научно-исследовательской работы. Примеры задач:

№ 1.2.8. Частица, покинув источник, пролетает с постоянной скоростью расстояние **L**, а затем тормозится с ускорением **a**. При какой скорости частицы время от её вылета до остановки будет наименьшим?

№ 2.2.11. Протон с начальной скоростью **V** летит прямо на первоначально покоившееся ядро **He**. Какова скорость частиц при наибольшем сближении? Масса ядра гелия близка к учетверённой массе протона.

№ 2.6.38. К планете радиуса **R** и массы **M** издалека движется со скоростью V_0 относительно неё космический зонд. При каком прицельном расстоянии ρ (перпендикуляр, опущенный из центра планеты на продолжение вектора V_0 скорости зонда на большом удалении), зонд пролетит ближе всего к планете, не разбившись?

№ 5.10.35. Оцените максимальную скорость испарения с поверхности 1 м^2 льда при 0° С и с поверхности воды при 100° С.

№ 13.3.17. Определите максимальное увеличение, с которым видна рыбка, плавающая в сферическом аквариуме.

«Физические задачи», академик П.Л.Капица, Москва, Изд. «Знание», 1966.

№ 4. По какой траектории должен лететь самолёт Ту-104, чтобы можно было воспроизвести невесомость? Как долго можно воспроизводить невесомость? Какие навигационные приборы нужны, чтобы пилот мог вести самолёт по требуемой траектории?

№10. По какой траектории полетит пуля, выпущенная из спутника вперёд (назад, в сторону)?

№ 13. Какая часть энергии переходит в звук при разряде Лейденской банки?

№ 29. Оцените порядок скорости, с которой человек должен бежать по воде, чтобы не тонуть.

№ 81. Какое количество капель тумана находится в кубическом сантиметре тумана, если видимость равна 100 м и туман держится около часа.

«Физический фейерверк», Дж. Уокер, Москва, Изд. «Мир», 1979. Прекрасная коллекция проблем и вопросов о физических явлениях. Уровень задач различен, от известных лекционных демонстраций до действительно нерешённых научных проблем.

№ 1-10. Как возбуждается вибрация скрипичной струны при плавном движении смычка? Зависит ли частота звука от нажима смычка и его скорости?

№ 2.22. Положите деревянную линейку горизонтально на указательные пальцы рук и, не торопясь, сближайте пальцы. Равномерно ли движется линейка по пальцам? Нет, она скользит по очереди то по одному, то по другому пальцу. Почему так происходит?

№ 3.60. Почему на Земле нет гор, скажем, в десять раз выше Эвереста? (Вершина Никс Олимпика на Марсе выше Эвереста более чем вдвое.) От чего зависит предельная высота горных вершин?

№ 4.7. Что произойдёт с уровнем воды (поднимется ли он, опустится или останется прежним) в бассейне, если из лодки, плавающей в бассейне, в него бросить камень? Говорят, что эту задачу как-то предложили знаменитым физикам Гамову, Оппенгеймеру и Блоху и … все трое ответили неверно.

№ 4.121. Часто можно видеть, как водяные капли скользят по поверхности воды, казалось бы, чудом спасаясь от того, чтобы быть захваченными ею. Что помогает каплям «устоять»?

3.6. Выводы из проведённого исследования

Каждый автор в итоге исследования приходит к некоему заключению. Если Вы посмотрите на выводы в статьях, опубликованных в научных журналах, то увидите, что в результате более или менее долгого и трудоёмкого исследования автор устанавливает, как правило, некоторые зависимости между существенными параметрами явления в форме таблиц, графиков, формул. В завершающей части работы на основании анализа полученных результатов подтверждается либо отвергается, а чаще всего уточняется общепринятая модель явления. И очень-очень редко учёному доводится открыть принципиально новый эффект, новый фундаментальный закон.

Леонардо проводил свои изыскания пятьсот лет назад на фоне зачаточного уровня научных знаний во многих областях. Необычайно высокую эффективность его исследований лишь отчасти можно объяснить наличием «оперативного простора». Сотни его античных и средневековых предшественников обращались к тем же проблемам, но не могли достичь высокого уровня понимания явлений, поскольку ограничивались обычно объяснением неких частных случаев, установлением неких частных эмпирических закономерностей. Эмпирический метод добывания знаний, состоящий в систематизации наблюдений и их анализе на уровне установления связей между параметрами, хотя и без понимания причин, играл определяющую роль на раннем этапе развития человечества. Наиболее наглядные примеры: выведение множества сортов растений и пород животных, методы создания и обработки материалов (камень, медь, бронза, железо), строительные конструкции, предсказание затмений солнца и др. Отнюдь не потерял он своего значения и в наше время: именно так добываются многие знания, имеющие важное прикладное значение. Примеры: влияние примесей на свойства материалов, воздействие лекарственных препаратов на организм, решение экологических проблем. Основные недостатки эмпирического метода: трудоемкость, необходимость длительного сбора информации, узкий диапазон применения.

«В Природе нет эффекта без причины; познай причину, и тебе не надо будет ставить эксперименты». C.A. 147 v.

«Хотя Природа начинает с причин и кончает их проявлениями, мы должны следовать в обратном направлении, начинать с опыта и через него исследовать причину». Ms. E 55 r.

Проведение исследования с целью найти причину – это уже современная философия получения научного знания, а не голый эмпиризм, ориентированный, как правило, на решение конкретной прикладной задачи в виде набора последовательных шагов, приводящих к желаемому результату. «Познание причины» - довольно широкое понятие. Фактически оно сводится при изучении частного явления или процесса к построению или уточнению модели явления на основе анализа наблюдений и результатов экспериментов. То, что ныне называется «законами природы» есть фактически «познанные причины» общего характера.

3.6.1. Модель явления

«Наука закоснеет, если заставить её служить практике»

А. Эйнштейн

Было бы неверно приписывать Леонардо первенство в построении моделей изучаемых явлений. Это было закономерным результатом наблюдений и размышлений многих его античных и средневековых предшественников. Но успехи Леонардо в научных исследованиях в различных областях несомненно связаны со стремлением с самого начала работы к построению модели изучаемого явления. В чём состоит основное достоинство построения модели явления именно как составной части научного метода? В аккуратно оговоренной, или, по крайней мере, легко определимой системе базовых наблюдений, экспериментальных данных, законов и гипотез, используемых при анализе некоторого класса явлений. По мере накопления знаний модель подтверждается новыми наблюдениями, углубляется. Если же появляются данные, которые не объяс-

няются существующей моделью, то пересмотр заложенных в ней гипотез позволяет что-то уточнить, а то и отвергнуть, сформулировав новые гипотезы.

Показателен в этом отношении пример развития представлений о движении тел в ближнем космосе. Геоцентрическая система мира Птолемея основывалась на многовековых наблюдения за движением луны, солнца и планет. Глубоко разработанный математический аппарат позволял с высокой точностью описывать движение каждой из планет. При этом модель была «открытой» в том смысле, что допускала, в случае несогласия предложенной структуры с наблюдениями, корректировать модель посредством уточнения параметров деферентов и эпициклов. Вопрос о причинах таких движений вообще не ставился. Коперник построил более наглядную модель посредством описания движения планет по круговым орбитам вокруг солнца. Последующее уточнение гелиоцентрической системы, сделанное Кеплером, состояло с методической точки зрения в допущении движения планет вокруг солнца по эллиптическим, а не по круговым орбитам. «Возмущения», отклонения движения планет от эллиптических орбит рассчитываются уже на основе закона всемирного тяготения Ньютона. Вклад Леонардо да Винчи в развитие космологии также связан с развитием модельных представлений. Это и природа космических тел (Луна – тело, подобное Земле; Солнце много больше Земли и является источником тепла), и отказ от представлений о тяготении как свойстве, присущем лишь центру Вселенной, который совпадает с центром Земли (см. подробнее наш анализ в разделе Н-5.3. Гравитация).

Следует подчеркнуть, что Леонардо-учёный, работавший в период до резкой дифференциации наук, свободно использовал при построении моделей различных процессов концепции и аппарат механики, физики, математики.

Механическая модель оптимальной формы зубов

В работах Леонардо да Винчи по анатомии и биологии имеется множество примеров построения поразительно ясных физических и механических моделей различных объектов. В пояснении к **Рис.78**, Windsor 19041r представлена его попытка реконструировать механические принципы, которые Природа использовала для оптимального построения зубов человека и животных:

Рис.78

«Зуб имеет тем меньшую силу укуса, чем дальше он отстоит от центра своего движения. Если центр, относительно которого движутся зубы, находится в точке a, на оси челюсти, я говорю, что чем дальше зуб от оси a, чем слабее укус... Природа делает коренные зубы, создающие большую силу, с коронкой, удобной для разжёвывания пищи. Она делает передние зубы для резания и проникания, но не для разжёвывания».

Слово «рычаг» не упомянуто в этом отрывке, но функциональные предназначения различных зубов объяснены, исходя непосредственно из соответствующего раздела статики.

Геометрическое обоснование строения клапана аорты

Да Винчи обнаружил при проведении анатомических исследований, что аорта перекрывается клапаном, состоящим из трёх сферических элементов, что показано на **Рис.79**. Всё в Природе разумно. Назначение клапанов - не позволять крови, выталкиваемой в сосуд при сжатии сердца, двигаться в обратном направлении. Почему клапан трёхсекционный? Чтобы ответить на этот вопрос, Леонардо рассмотрел две альтернативные мыслимые конструкции: двух-

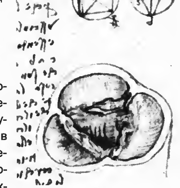


Рис.79

секционный и четырёхсекционный клапан. Он предложил следующий анализ проблемы:

«Природа сделала 3 клапана, а не 4, потому что пелликулы /тонкие плёнки/, находящиеся на краях этих клапанов, образуют большие углы, когда их 3 - угол c a b, чем угол e h f, когда из 4. Тупой угол потому прочнее, чем прямой в квадратном клапане, что катет a s /то есть высота в треугольнике/ короче, чем катет в квадрате, и квадратная апертура более просторная, чем треугольная при том же радиусе окружности. Следовательно, мембраны четырёхсекционного клапана слабее, чем трёхсекционного, так как их углы более удалены от основания». Windsor 19117 v.

Леонардо изобразил на рисунке также и двухсекционную конструкцию, но без комментариев, ввиду очевидной функциональной непригодности (узкая щель) и жёсткости. Там же он предложил для объяснения чашеобразной формы клапанов гидравлическую модель движения крови в сосуде с формированием вихрей, обеспечивающих дополнительное давление для более плотного закрывания клапана.

Физическая модель явления – поверхностное натяжение

«Воде присуща связность и сила сцепления между её частицами; это можно увидеть, наблюдая, как капля, прежде чем она оторвётся от остальной воды, вытягивается, удерживаясь в точке контакта, пока её вес не станет избыточным. Вода служит магнитом для другой воды; как можно видеть /в том же процессе формирования капли/... сразу после того, как капля отделилась, остальная часть воды возвращается вверх против природы тяжести. Можно видеть, как большая капля немедленно поглощает малую при соприкосновении с ней; и то же самое происходит с мельчайшими частицами воды, которые рассеяны в воздухе и которые сближаются, действуя друг на друга как магниты, соединяются и, когда их общий вес уже превышает сопротивление воздуха, падают в виде дождя». Hammer 14A-23v.

Чуть позже в том же манускрипте Леонардо указывает на проявление того же эффекта, называемого ныне «поверхностным натяжением», уже в более общем случае – взаимодействии воды с другим веществом, с песком:

«Вода в песчаном берегу реки поднимается сама по себе, против природы тяжести, и смачивает его». Hammer 12B-25r.

3.6.2. «Правила». Обобщающий вывод

Леонардо смог прийти во многих исследованиях к выводам фундаментального значения на основе очень ограниченной «базы данных», потому, что никогда не терял из виду конечную цель – **установление «Правил», Законов Природы**. Это подтверждается его собственными высказываниями:

«Разум наблюдателя должен войти в разум Природы для того, чтобы действовать в роли интерпретатора и разъяснить причины проявлений её Законов». T.P. 40

«Природа не нарушает свои Законы; Природа ограничена логической необходимостью своих неотъемлемых Законов». Ms. C 23v

Сохранившиеся манускрипты позволяют проследить, как Леонардо да Винчи начинал с наблюдений, познавал их причины и приходил к обобщающим формулировкам Законов Природы. Вот, например, как эти этапы просматриваются в развитии его исследований, приведших к формулировке Принципа равенства действия и противодействия, того, что принято называть III Законом Ньютона:

• **заключение из наблюдений за полётом птиц:**

«Тело оказывает такую же силу сопротивления на воздух, что и воздух на тело. Посмотри, как удары

крыльями о воздух поддерживают тяжёлого орла в разреженном воздухе.... Обрати также внимание на то, как движение воздуха над морем надувает паруса и гонит сильно нагруженные корабли». С.А. 381v

• заключение из наблюдений взаимодействия воды с веслом:

«Так же тяжело двигать весло в спокойной воде, как и двигать воду на неподвижное весло». С.А. 175 r-c

• обобщение обнаруженных эффектов и формулировка Принципа Равенства Действия и Противодействия:

«Каждое тело движется в направлении, обратном направлению на место, из которого оно выведено объектом, который ударяет по нему....Тело воздействует на объект в той же мере, в какой объект воздействует на тело». B.M. 85r

Ещё один пример из другой области - физиологии

«Один старик за несколько часов до своей смерти говорил мне, что ему больше ста лет и что он не чувствует в себе никакого изъяна, разве только недостаток сил, и так, сидя на постели, в госпитале Санта Мария Новелла во Флоренции, без какого-либо движения и иного какого знака недомогания отошёл он из этой жизни. И я сделал вскрытие трупа, чтобы увидеть причину столь тихой смерти, и увидел, что произошла она от слабости, вызванной недостатком крови в артериях, питавших сердце и другие подчинённые органы, которые нашёл я чахлыми, измождёнными и иссохшими. Анатомировал я также двухлетнего ребёнка и нашёл всё совершенно противоположным тому, что было в случае старика». Fogli B 10r.

Позднее Леонардо добавил на поле того же листа следующую запись: *«Старые люди, живущие во здравии, умирают от недостаточного питания, вызываемого тем, что прохождение сосудов становится всё более затруднённым из-за утолщения стенок сосудов. Первыми перекрываются капиллярные сосуды, и потому старые больше боятся холода, чем молодые, и у очень старых кожа имеет цвет дерева или сухих каштанов, потому что она почти совсем лишена питания».* Fogli B 10r.

При внимательном прочтении записей ясно видны последовательные этапы работы мысли Леонардо, приведшие к важному открытию – выяснению, что уменьшение просвета в кровеносных сосудах (атеросклероз), Рис. 80 (См. раздел Иллюстрации) является важнейшей причиной старения:

- наблюдение (форма кровеносных сосудов и толщина их стенок у столетнего старика);
- наблюдение-2 (совершенно отличная структура сосудов у двухлетнего ребёнка);
- заключение о принципиальной важности наблюдаемого эффекта (резкое повышение сопротивления току крови при уменьшении сечения сосуда);
- дополнительное подтверждение отмеченного эффекта (большая чувствительность к холоду и изменение цвета кожи у стариков вследствие перекрытия капиллярных сосудов);
- общий фундаментальный вывод (роль атеросклероза в старении).

Полученные в результате исследований научные знания, имеют, по утверждению Леонардо, огромную ценность, потому что представляют собой правильные, правдивые представления об окружающем нас мире:

«Несомненно, Правда относится к Неправде так же, как Свет к Тьме, и Правда сама по себе настолько прекрасна, что даже когда трактует простые и низкие материи, она выше, чем неопределённость и ложь в рассуждениях о великом и возвышенном... Правда о вещах есть лучшая пища для ясных умов, но не для бездельников». Sul Volo 10 r.

Тем более, что установленные в исследованиях общие закономерности, Правила являются базой для дальнейших научных изысканий и для обоснованных инженерных решений:

«Если бы ты меня спросил: Что дают эти твои правила? На что они нужны? Я тебе отвечу: они обуздывают инженеров и исследователей, не позволяя им обещать себе или другим вещи невозможные и прослыть безумцами или обманщиками». С.А. 337 b

3.7. Проверка

Проверка полученных результатов важна не только по завершении работы. На основе анализа манускриптов Леонардо да Винчи можно предложить вниманию исследователей два приёма, которые он успешно применял.

3.7.1. Внутренний критик

Леонардо-художник использовал простой и эффективный способ для того, чтобы заметить возможные ошибки в картине, и рекомендовал его художникам:

«Мы хорошо знаем, что ошибки легче замечаются в чужих работах, чем в собственных. Когда рисуешь, ты должен часто смотреть на отражение своей картины в плоском зеркале. Когда ты видишь её повёрнутой, картина будет восприниматься тобой как работа другого художника и тебе будет легче заметить её ошибки». Ash.I, 7b.

«Внутренний критик» очень полезен в любой творческой работе. Гораздо лучше получить жёсткую, но полезную и неунижающую критику от внутреннего оппонента, чем от кого-либо другого. Леонардо активно применял этот метод самоконтроля в своих научных исследованиях. В его записках «внутренний критик» выступает обычно в роли воображаемого оппонента: *«...если ты говоришь, что...»* или *«... если ты скажешь, что..., то я отвечу...»*. Обращение к себе в грамматической форме третьего лица на стадии планирования исследования предполагает возможность привлечения внутреннего критика для последующего обсуждения полученных результатов как бы со стороны: *«Покажи, как облака образуются и растворяются...»*. Ms. F 35 r; *«Препарируй летучую мышь, изучи её внимательно и по этой модели сконструируй аппарат»* [Ms. F 41 v]. Анализ проблемы в форме столкновения аргументов за и против является одним из проявлений эффективного использования внутреннего критика в исследованиях Леонардо. Мы подробно обсуждали этот приём ранее в разделе 3.4.5.

3.7.2. Многократное независимое возвращение к проблеме

Следует отметить специфическую особенность научных исследований Леонардо - многократное независимое возвращение к решению важной проблемы, без обращения к предшествующим результатам, для того чтобы с большей вероятностью найти новый, не пройденный ранее подход. Такой весьма необычный приём Леонардо применял при попытках создания вечного двигателя, при изучении природы луны, движения воды, полёта птиц, анатомии, и др. Независимые подходы к проблеме позволяли Леонардо находить новые стороны явления, выдвигать новые аргументы и либо подтверждать прежний вывод, либо приходить к новому, более обоснованному заключению. Временные интервалы между последовательными подходами к проблеме варьировались от нескольких дней (см., например, тексты о потопе и происхождении раковин на горах в Кодексе Хаммера – стр. 3, 8, 9, 10, 20, 36) до нескольких лет, как, например, при исследовании проблемы вечного двигателя (см. параграф H-2.1).

Рассмотрим детальнее яркий пример многократного подхода Леонардо к проблемам – **выяснение происхождения источников воды на горах.** Над решением этого вопроса Да Винчи бился около 20 лет прежде чем смог отказаться от неверного представления, просуществовавшего более 1500 лет. Особую важность для Леонардо вопрос о научно обоснованном объяснении происхождения источников на вершинах гор представлял потому, что водяные мельницы были в то время наиболее распространенным приводом к различным машинам, притом являлись осязаемым примером существующего в природе вечного двигателя (см. раздел H-2.1).

Отправная точка исследований – микрокосм и макрокосм

Как было отмечено в разделе Н-6. Земля как живой организм, в Средние века и во времена Леонардо представление о сходстве между человеком - микрокосмом и Землёй – макрокосмом было не просто некоей красивой идеей, а основополагающей концепцией восприятия мира. Важной составной частью этой концепции было объяснение происхождения источников на горах, предложенное Сенекой во II веке н.э. (см. цитату из Сенеки в разделе 6.2.2). Показательно, что уже при пересказе идеи Сенеки (без ссылки) Леонардо, привыкший любой научный тезис пропускать через собственные наблюдения, анализ и эксперименты, делает акцент на поиск естественных причин, которые могли бы обеспечить движение воды в земле против закона тяжести:

«Та же причина, которая движет различные соки в живых организмах против естественного закона тяжести, проталкивает воду через жилы в земле. И так же как кровь поднимается снизу и изливается из повреждённого сосуда на голове, как вода поднимается от корней лозы к срезанным ветвям, так и вода с самых глубин океана поднимается к вершинам гор, где, найдя трещины, изливается и возвращается в море». C.A.171

Отказ от предложенных ранее моделей

Многие читатели относятся, по-видимому, с недоумением к обсуждаемой здесь проблеме, поскольку каждый знает, что вода в ручейках и источниках происходит из дождей, нам о кругообороте воды в природе говорили на уроках природоведения в начальной школе. Но 500 лет назад этого ещё не знали! Чтобы лучше понять ход работы Леонардо да Винчи над этой важной проблемой, следует сначала рассмотреть, какие физические модели данного процесса предлагались в то время и почему он от них отказался.

- **Дожди** поставляют воду в источники на горах. Это, почти правильное, объяснение (облака в высоких горах обычно наблюдаются ниже вершин) было высказано Аристотелем, правда, наряду с другими объяснениями, включая «выдавливание под действием веса гор воды из земли как из губки» (см. [68]). Вначале Леонардо отвергал это объяснение, обосновывая своё мнение следующим образом:

«Если ты скажешь, что дожди в зимнее время и таяние снегов в летнее время /Леонардо никогда не выезжал за пределы Италии-М.М./ *вызывают рождение рек, я укажу на реки, которые рождаются в знойных странах Африки, где никогда не выпадает дождь, и тем более снег, потому что жара всегда превращает в пар все тучи, которые приносит туда ветер».* Hammer 4A-33v

В XVI веке европейцы ещё не знали, что Нил, самая длинная река на земле (6.670 км) приносит в Средиземное море воду из экваториальных областей Африки, где есть и дожди, и высокие горы с заснеженными вершинами. Позднее он признал правильность этого объяснения.

- **Сифонный эффект.** Леонардо, несомненно, был знаком с сифонным эффектом. Он повсеместно используется, например, для наливания вина из бочки в кувшин. Вероятно, Леонардо мог знать, что Плиний высказывал предположение о возможной роли этого эффекта в возникновении источников на горах. Возражение Да Винчи против этого объяснения:

«Вода, текущая с гор, могла бы забирать воду из моря как сифон, если бы выходное отверстие было ниже уровня моря. Но этого не может быть, так как ни одна часть мира, не погруженного в океан, не может быть ниже уровня океана». Ms. G 70 a

- **Притяжение Луны.** Такое объяснение было предложено Плинием и Альбертом Великим. Аргументы Леонардо против этой модели: малые величины наблюдаемых высот приливов ставят под вопрос возможность предполагаемого эффекта для высоких гор; кроме того, поток воды из источников должен был бы сильно зависеть от относительного положения луны.

Другие модели, рассмотренные Леонардо

Нелегко убедительно определить авторство изложенных ниже моделей, да это и не особенно важно. Существенно то, что Леонардо в поиске ответа на поставленную задачу рассматривал их сначала в качестве возможных причин, а затем после анализа обоснованно отказался.

- **Движение воды через Землю за счёт солнечного тепла.**Отвергнув возможность подъёма воды в горы за счёт влияния луны, Леонардо обратился к рассмотрению роли солнца, поскольку на основании своего анализа природы небесных тел установил, что *«всё жизненное начало исходит из Солнца, так как тепло в живых существах происходит от него»*. Ms. F 5r.

«Когда голова человека перегревается на солнце, количество крови в ней увеличивается, что вызывает головную боль... Благодаря теплу, распространяющемуся по всему телу, содержащему жидкости, вода из родников естественным образом поднимается к вершинам гор. Более того, тепло элементов огня и в дневное время солнечное тепло обладают силой притяжения влаги на низких местах и переноса её на высоту». Ms. A 56 r.

Но позднее (манускрипт Ms. A датируется 1491-92, Кодекс Хаммера – 1503-08) Леонардо отказался от этой физической модели, поскольку она противоречила его собственным наблюдениям:

«Вода не втягивается на вершины гор за счёт солнечного тепла, поскольку оно слабо проникает к подножиям, что видно ниже горы Ла Верниа, где лёд в кавернах сохраняется в течение самого жаркого лета....На северных склонах Альп, куда не попадают солнечные лучи, лёд никогда не тает, потому что тепло солнца не может проникнуть даже сквозь малые толщи гор....Если ты скажешь, что солнце всасывает воду от подножий гор к вершинам, тогда большее количество тепла должно было бы поднимать больше воды. Потому летом, когда очень жарко, вода по подземным венам должна была бы подняться на большие высоты, чем зимой; но мы наблюдаем обратное, летом в реках количество воды уменьшается». Hammer 5A-32 v.

- **Эффект смачивания.**

«Океанская вода не может проникнуть от основания гор к вершинам,... если только сухость гор не притянет её». Ms. G. 70 r

Это была новая и весьма продуктивная идея. Леонардо фактически ввёл этим предположением в науку целый набор эффектов, определяемых поверхностной энергий различных веществ, когда они находятся в контакте: сферическая форма капель и мыльных пузырей, подъём воды в капиллярах. И, действительно, именно эффект смачивания ответствен за проникновение и удержание воды в почве. Замерзание воды, втянутой в щели в горных породах приводит к постепенному росту трещин, к эрозии. Интересно отметить, что позднее, в Кодексе Хаммера – книге, которая была практически подготовлена к публикации самим Леонардо да Винчи, он исключил возможность эффекта смачивания в образовании источников в горах:

«Если ты скажешь, что действие земли подобно действию губки, фетра или другого пористого тела... ответ будет таков: если даже вода поднимется до верха губки, она не может излиться из неё, пока не будет выжата каким-либо сторонним воздействием, в то время как с вершин гор вода вытекает сама по себе, без какого-либо выжимания». Hammer 3B-3v; 5A-32 v.

И этот аргумент был честно высказан Леонардо против своей красивой модели явления. Красивая схема хороша, но научная Правда дороже, поскольку она есть часть Причин Природы!

- **Внутреннее тепло Земли.**

«Озеро крови, которое лежит у сердца, дышит, увеличивая и уменьшая поток крови. Так же и в Земле имеются приливы и потоки. Жизненное тепло Земли есть огонь, находящийся внутри её; созидающий дух огня проявляется в горячих бассейнах, серных шахтах и вулканах, таких как Этна в Сицилии и в других местах». Hammer 3B-34r.

Идея о внутреннем тепле Земли как силе, движущей воду от подножий к вершинам гор, очень привлекательна. Она предлагает реальный, на языке современной физики, источник энергии, который мог бы обеспечивать движение воды против силы тяжести. В разделе Н-2.2. Строение материи был описан эксперимент Леонардо да Винчи по исследованию процесса горения в замкнутом объёме, из которого был впервые сделан вывод о том, что часть воздуха соединяется с горящим веществом. В действительности, это эксперимент был проведён им не из любознательности, а в процессе изучения возможной роли внутреннего «огня» Земли в подъёме воды по венам до вершин гор. И вывод о механизме процесса горения был получен Леонардо как бы «походя», а более существенным для него в то время было следующее заключение:

«Если ты хочешь убедиться, что вода поднимается не теплом, открой отверстие р в сосуде, и ты увидишь, что уровень воды останется на месте». Hammer 3B-3v.

- **Окончательный вывод.**

«Вода рек исходит не из моря, а из облаков». C.A. 160 v.a

«Первопричина моря противоположна первопричине крови, поскольку море принимает в себя все вены, которые приносят воду, происходящую исключительно из паров, поднявшихся в воздух. А море крови есть основание для всех вен». Windsor 19003 г.

Такое объяснение, наряду с другими, происхождения горных источников было высказано ещё Аристотелем, правда, наряду с другими альтернативными объяснениями. Но сначала Леонардо не принимал его. Теперь, после детального анализа разных моделей, он пришёл к выводу: вода на вершинах гор, которая даёт начало рекам, приходит туда не через каналы в земле их моря, а из дождей и конденсации паров из воздуха на холодных поверхностях. Леонардо пришёл к тому выводу лишь в конце жизни. Было бы очень жаль, если бы эти записи не сохранились до нашего времени. Своим выводом Леонардо полностью отклонил, наконец, после 20 лет исследований столь созвучную с духом Ренессанса аналогию между Землёй и человеком-микрокосмом.

Задачи – Леонардески

80. Оцените для района, где Вы живёте, глубину под поверхностью почвы, на которой колебания среднегодовой температуры не превышают 1°С. Сравните результаты Вашего расчёта с данными о температуре в глубоких шахтах.

81. Что будет наблюдать космонавт, когда снимет в корабле крышку с бутылки с водой?

82. Какой механизм ответствен за движение сока к вершинам деревьев? /Для информации: некоторые секвойи достигают высоты 120 м/. Может ли капиллярный эффект обеспечить движение сока до вершин? Если Вас интересует эта проблема, проведите следующий эксперимент. Вырежьте 3 куба из сухого бревна с известным направлением вверх. Поместите их в таз с водой так, чтобы у первого куба отмеченная ориентация была направлена вверх, у второго - вниз, у третьего - горизонтально. Исследуйте, в каком кубе влага скорее достигнет верхнего сечения. Объясните полученный результат.

3.8. Приложения

Бенджамина Франклина (1706-1790), открывшего в 1748 -1752 годах в опытах по электризации трением существование зарядов разных знаков, как-то спросили: «Какое же применение Вашему открытию?». На что он ответил: «А какое применение новорожденному?». Притча эта на самом деле не совсем верна. Действительно, срок, отделяющий открытие от его практического применения, может меняться в широких пределах. Иногда он растягивается на десятилетия (возникновение ЭДС при движении проводника в электрическом поле, генетика, ядерный распад). Но, что очень важно, автор открытия, глубоко понимающий его сущность, имеет больший шанс скорее найти практическое приложение, чем кто-либо другой. Франклин доказал электрическую природу молнии. И он же предложил первое практическое применение научных работ по электричеству – молниеотвод, и к 1782 году молниеотводы были установлены уже на 400 зданиях Филадельфии.

Официально Леонардо да Винчи при дворе Сфорца в Милане, а затем во Франции занимал должность придворного архитектора и инженера. Потому большая часть его исследований была инициирована напрямую потребностями практики (архитектура, фортификация, орудия для нападения и защиты, мосты, каналы и пр.). В контексте этого раздела нас интересуют прикладные работы не «заказного» характера, а вытекающие из чисто научных исследований. Конечно, не в каждой области научные результаты могли быть в то время непосредственно соотнесены с практическим использованием (такие, например, как космология, происхождение раковин на горах, фундаментальные вопросы биологии), но в большинстве своих разработок Леонардо настойчиво искал и находил приложения:

«Сначала напиши диссертацию о причинах, вызывающих повреждения стен, а затем отдельно о способах, как спасти их от разрушения». B.M. 157 г.

Наиболее интересный прикладной результат в этой области – здание со структурой арки, *обращённой вниз, для повышения устойчивости при землетрясении* [Teodoro 1983].

«Когда будешь излагать науку о движениях воды, не забудь под каждым положением приводить его практические применения, чтобы твоя наука не была бесполезна». Ms. F 2 v

Приведём несколько примеров, показывающих, какие практические применения своих фундаментальных научных и инженерных разработок смог увидеть Леонардо.

Изобретение центробежного насоса (см. [Ms. F 13r], [Hammer 10B-7r], [Pedretti, комментарий в Кодексу Хаммера, стр.90]). На этом примере можно ясно видеть последовательные шаги Леонардо от фундаментального исследования к практике: **Наблюдение ⇒ Почему? ⇒ Причины ⇒ Как применить? ⇒ Изобретение.**

- **Наблюдение:** *«О неожиданном водовороте. Когда рука производит вращательное движение в сосуде, наполовину наполненном водой, она производит неожиданный водоворот, который обнажает дно сосуда...».* Рис. 81, Ms. F 13r. Неожиданный водоворот! Дно обнажается!

- **Почему? ⇒ Причина** - *«импульс»* (по существу, в данном случае речь идёт о моменте количества движения - М.М.): *«...и когда движущая сила убирается, водоворот будет продолжать это движение, но постепенно уменьшаться до тех пор, пока импульс, введённый этой движущей силой, не исчерпается».*

- **Как применить?** Если такой водоворот поддерживать с помощью внешнего механизма, можно создать устройство для откачивания воды.

- **Изобретение:** несколько рисунков на последующих страницах 13-16 Манускрипта Ms. F, на которых показана принципиальная схема центробежного насоса, Ms. F 13 r и предложены варианты устройства для применения его на корабле и для осушения болот.

Студенты и молодые научные работники с большой пользой для себя могут проследить указанную выше цепочку шагов научного исследования от исходных наблюдений до приложения на практике на других наглядных примерах из работ Леонардо, и затем проанализировать с этих позиций научные результаты в своей области интересов.

- **Летательные аппараты** (см. Н-2.3 Полёт).
- **Изобретение автоматического вертела, Рис. 25**. Пропеллер – одно из наиболее известных изобретений Леонардо да Винчи для подъёма в воздух аппарата тяжелее воздух. Здесь он установлен в трубе над жаровней. Устройство является фактически одним из первых автоматов с надёжной «обратной связью»: чем сильнее огонь, тем быстрее вращается вертел.
- **Изобретение велосипеда, Рис.69-а**, С.А.133 v. Как было отмечено ранее, в параграфе 2.4. Приложения, по-видимому, этот проект был предложен на самом деле походя, просто в попытке найти применение

для цепной передачи, **Рис.69-б**, Madrid I, 10, элемента в детально разработанной Леонардо системе деталей машин.

- **Технические решения, основанные на фундаментальных исследованиях Леонардо да Винчи по трению:** изобретение нескольких конструкций подшипников и устройства для обеспечения безопасности при аварийном торможения движущегося аппарата (см. раздел 6.1).

Задачи – Леонардески

83. Найдите информацию о технических и организационных деталях методов, которые разработали голландцы для осушения прибрежных участков территории и регулирования уровня воды в каналах.

84. Составьте обоснованный анализ экологических проблем, связанных с предложениями осушения обширных территорий, таких, например, как Западная Сибирь или Флорида.

85. Как сделать в кристалле алмаза треугольное отверстие? /Подсказка: а нельзя ли использовать какой-либо химический эффект?/

86. Предложите вариант использования ленты Мёбиуса в технике (в книге Г.С. Альтшулера «Как найти идею», на стр.170 упомянуто, что в 1970-90-е годы было запатентовано 9 изобретений с применением ленты Мёбиуса).

IV. ОШИБКИ ЛЕОНАРДО

Главное препятствие к познанию истины есть не ложь, а подобие истины.

Л.Н.Толстой, Круг чтения, 15 сент.

Человек, который не делает ошибок, обычно ничего не делает. Леонардо сделал за свою жизнь десятки пионерских исследований в различных областях. Вполне естественно, что с позиций научных знаний, достигнутых за истекший после Леонардо 500-летний период, некоторые из его результатов оказались не вполне аккуратными или даже ошибочными. Только простодушный человек, верящий, что Леонардо да Винчи имел какие-то фантастические связи с будущим, был бы шокирован постановкой вопроса об обсуждении ошибок Леонардо. Напротив, все знают, что полезно учиться на своих ошибках. Но ещё полезнее учиться на ошибках выдающихся предшественников, особенно в тех случаях, когда те сами их признавали и исправляли.

Ошибки в научных исследованиях Леонардо да Винчи могут быть разделены на три группы в соответствии с источником их происхождения. Первую, и наиболее многочисленную группу, составляют ошибочные заявления в его манускриптах, происходящие на самом деле от античных и средневековых предшественников. Леонардо в записных книжках, написанных для себя, очень редко отделял результаты своей собственной работы от мыслей, почерпнутых из книг и из бесед с коллегами. Вторая группа ошибок относится к исследованиям в областях, где он имел весьма малые шансы достичь глубокого понимания сути проблем просто вследствие ограниченности имевшегося в то время достоверного фактического материала и/или ещё не открытых фундаментальных законов природы. Третью группу составляют ошибки, которых Леонардо мог бы избежать при его опыте и более аккуратном следовании своим же собственным рекомендациям.

4.1. Ошибки, перешедшие к Леонардо от предшественников

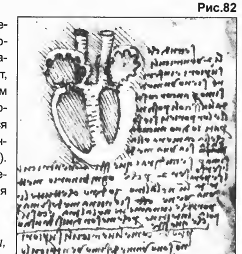
4.1.1. Происхождение источников на горах

В течение 20 лет Леонардо да Винчи был активным адептом идеи, высказанной ещё Аристотелем и Сенекой, что источники с гор, дающие начало рекам, образуются за счёт воды, пришедшей из океана. Он многократно ссылался в своих записях на эту идею, пытался найти реальные физические механизмы, обеспечивающие подъём воды против силы тяжести. Его работа над решением этой проблемы подробно описана в разделе 3.7.2. «Многократное возвращение к проблеме».

4.1.2. Источник тепла в человеческом теле

Учение греческого медика Галена (130-200 н.э.) было основой представлений об анатомии и физиологии человека в Средние века, и Леонардо да Винчи, имея весьма ограниченные возможности для собственных исследований, оставался по многим вопросам в рамках схем, предложенных Галеном. Так, движение крови, выявляемое пульсом, объяснялось Галеном не как реальное кровообращение, а как ритмические приливы и отливы крови от сердца и обратно. Для того, чтобы сделать свою схему соответствующей анатомическим исследованиям, Гален предположил, что кровь проходит из правого желудочка в левый через очень малые, невидимые отверстия. Ошибочность этого предположения Галена была установлена около 1550 г. итальянским анатомом Реальдо Коломбо (1510-1559): кровь из правого желудочка сердца идёт в лёгкие, а затем возвращается в левый желудочек. Трактат о кровообращении английского учёного Уильяма Гарвея (1578-1657) был опубликован в 1627.

Рис.82



В Виндзорском Кодексе Леонардо да Винчи, где собраны результаты его анатомических исследований, более 20 из 400 крупноформатных страниц (40 х 30 см) с рисунками и подробными описаниями посвящены сердечнососудистой системе. Медики отмечают, что анатомические исследования выполнены Леонардо в основном на бычьем, а не на человеческом сердце. Ни здесь, ни там нет отверстий между правым и левым желудочками, но Леонардо находился под столь сильным влиянием Галена, что изобразил на своих рисунках несуществующие отверстия между ними (**Рис.82**, Quaderni I, 3г). Более того, он построил на этой ненаблюдаемой структуре объяснение очень важного эффекта – физической модели происхождения внутреннего тепла человеческого тела.

«Тепло даёт жизнь всякой вещи, как показывает тепло курицы, которое мало-помалу даёт жизнь и начало цыплятам, а солнце производит цветение и животворит все плоды». Quaderni IV, 13

«Тепло сердца производится быстрым и непрерывным движением крови с внутренним трением, вызванным завихрениями, а также трением в пористой стенке между правым и левым желудочками сердца, в который кровь непрерывно входит и выходит с импульсом. Трение при движении вязкой жидкости переходит в тепло, кровь нагревается и утончается настолько, что проникает через поры и даёт жизнь и дух всем частям тела, в которые она вливается...». Quaderni I, 4г

Верно ли заключение Леонардо о том, что нагрев крови за счёт трения при движении в сердце может обеспечить достаточный нагрев тела? Теперь мы знаем, что это заключение ошибочно. Во времена Леонардо до появления органической химии и биохимии было ещё очень далеко, тем более до выяснения деталей многоступенчатого процесса разрыва на части молекулы глюкозы, обеспечивающего наибольший вклад в по-

лучение тепла из пищи, до изучения физико-химических процессов в митохондриях, специальных образованиях в клетке. В контексте исследования научного метода Леонардо да Винчи следует признать, что предложенная им схема разработана не на основе его собственных наблюдений, а опиралась на общепризнанное представление Галена о движении крови сквозь микроскопические отверстия в сердце. На фоне мистических «сил» галеновской физиологии попытки Леонардо да Винчи искать научные объяснения наблюдаемых эффектов (см. раздел Н – 8. Биология), пусть и не всегда удачные, были всё же существенным шагом вперёд. Нелишне также отметить, что Леонардо в своей модели исходил из перехода механической работы при трении в тепло. Вспомните, что концепция теплорода была изжита лишь в середине XIX века, и что важную роль в установлении количественной связи между механической работой и теплотой сыграли известные эксперименты Джоуля по нагреванию жидкости лопастями, вращаемыми грузом, который опускался с контролируемой высоты.

4.2. Недостаток достоверной информации

4.2.1. Голубой цвет атмосферы

«Какое небо голубое!»... Поразительно, как Леонардо смог пройти большую часть пути от простого любования голубым цветом неба к почти правильному пониманию природы этого явления. Очевидно, что его качественное решение столь фундаментальной проблемы, полученное на очень ограниченной базе знаний о физике света и газов, не могло быть абсолютно верным. И, формально говоря, его акцент на роли водяных паров в этом явлении является ошибкой. Но давайте посмотрим на соотношение ошибочных и верных положений при обсуждении столь сложной проблемы. Начнём немного «издалека», с верного, в принципе, положения о рассеянии света в атмосфере:

«Звёзды видны ночью, а не днём, потому, что мы находимся под плотным слоем воздуха, полного бесчисленных частиц влаги, каковые каждая порознь, ударяемые лучами солнца, отражают блеск, так что бесчисленные сияния затмевают эти звёзды. А если бы такового воздуха не было, небо всегда бы являло нам звёзды среди своего мрака». Ms. F 5 v.

Здесь Леонардо определяет суть процесса – рассеяние солнечного света на частицах, не уточняя размер частиц. Действительно, наличие в воздухе крупных частиц (размера длины волны и более), не зависимо от их природы, приводит к рассеянию света, белого в случае достаточно крупных капелек воды (туман, облака) или пылинок, или окрашенного, наблюдаемого после крупных извержений вулканов или над заводскими трубами.

Рассмотрим детально аргументы Леонардо, высказанные в заметке под названием «О цвете атмосферы» в Кодексе Хаммера:

«О цвете атмосферы.

*Я утверждаю, что синева неба есть не его собственный цвет ([*1]* – так отмечены важные положения в цитируемом рассуждении, которые ниже будут обсуждаться – М.М.), *а порождается нагретой влагой [*2], испаряющейся в виде мельчайших неощутимых частиц [*3]. Солнечные лучи ударяют [*4] по ним и заставляют светиться [*5] на фоне глубокой темноты, которая покрывает их сверху... И это можно увидеть, как видел я, если подняться на Монте Розу, вершину в Альпах* /за прошедшие после Леонардо 500 лет небо над Монте Розой в солнечный день осталось всё таким же темно синим, что видно на фотографии автора, сидящего на пограничном столбе между Италией и Швейцарией - далее идти не мог, так как не было швейцарской визы, **Рис.83**(См. раздел Иллюстрации)/... *Я видел тёмную атмосферу над головой [*6]. Лучи солнца, падающие на скалы, были гораздо ярче, чем на ниже лежащих долинах, вследствие меньшей толщи [*7] атмосферы между вершинами гор и солнцем... Кто-то мог бы сказать, что, если бы голубой цвет атмосферы был её естествен-*

*ным цветом, отсюда следовало бы, что чем большая толщина атмосферы была бы между глазом и источником света, тем более плотной была бы голубизна [*8], как это наблюдается в случае стекла или сапфира, которые тем темнее, чем толще. С атмосферой же происходит как раз наоборот, чем больше её толщина, когда взгляд опускается к горизонту, тем она белее.... Отсюда следует то, что я сказал, то есть что атмосфера кажется голубой потому, что частицы захватывают [*9] лучи солнца.*

*Можно также отметить различие между пылинками и частицами дыма в солнечных лучах, проходящих в тёмную комнату через малое отверстие: в одном случае луч кажется пепельным [*10], а луч, проходящий через тонкий дым, кажется прекрасно синим [*11]».* Hammer 4A - 4r

Современное объяснение голубого цвета атмосферы основывается на большом числе экспериментальных и теоретических исследований, выполненных в основном через 350-400 после Леонардо, среди которых можно особо выделить следующие фундаментальные результаты, непосредственное относящиеся к обсуждаемой проблеме:

1. Эксперименты Гюйгенса и Френеля по интерференции и дифракции света, убедительно показавшие его волновую природу.

2. Открытие в 1809 Д. Араго поляризации солнечного света, рассеянного атмосферой.

3. Электромагнитная природа света была установлена как конечный блестящий вывод из электромагнитной теории Джемса Максвелла, опубликованной в 1873 г.

4. Джон У. Рэлей (1881) на основе уравнений Максвелла разработал математическую теорию рассеяния света на малых диэлектрических частицах. Свет – электромагнитная волна, падающий на малый объём (много меньше длины волны), возбуждает колебания электрических зарядов, в результате чего излучается волна во все стороны. Излучённый (рассеянный) свет поляризован. Согласно расчётам Рэлея, в среде с диэлектрическими частицами интенсивность света, рассеянного в направлении, перпендикулярном направлению распространения электромагнитной волны, обратно пропорциональна четвёртой степени длины волны, $I \sim \lambda^{-4}$. Отсюда следует, что коротковолновая, синяя, часть спектра рассеивается в стороны значительно сильнее, и соответственно, в проходящем свете относительная доля длинноволнового, красного, цвета возрастает.

5. Как установил в 1908 г. Мариан Смолуховский, «частицами», ответственными за наблюдаемую долю рассеяния коротковолновой части спектра солнечного света в чистом воздухе являются флуктуации плотности воздуха.

6. Когда в воздухе присутствует достаточно высокая концентрация больших частиц, размером порядка или более длины волны, определяющую роль в рассеянии света играет обычное хаотическое рассеяние всех компонент света, и наблюдатель видит белый свет.

Если мы сравним теперь идеи, высказанные Леонардо, о происхождении голубого цвета атмосферы с современным объяснением этого явления, можно прийти к следующим выводам: да, с формальной точки зрения его слова об определяющей роли водяного пара в рассеянии света в атмосфере (положения **[*2]**и **[*3]** в цитированном тексте) являются ошибочными. Но по существу следующие положения из его объяснения верны:

- голубой цвет атмосферы не является её собственным цветом **[*1, *8]**,
- а возникает в результате взаимодействия **[*4, *5, *9]** света с некоторыми «мельчайшими, неощутимыми частицами» **[*3]**, существующими в атмосфере; без такого взаимодействия небо было бы и днём чёрным**[*6 и первая цитата]**;
- слова о роли малых рассеивающих частиц **[*3]** в возникновении голубого цвета атмосферы существенно более значимы, чем предположение об их специфическом составе **[*2]**;
- размер частиц является определяющим параметром **[*3, *10, *11]**, голубой цвет при рассеянии света в среде может быть получен и на мельчайших частицах дыма **[*11]**!

Таким образом, идеи Леонардо да Винчи о происхождении голубого цвета неба в основном верны, не смотря на формальный акцент на рассеянии света на частицах пара. Используя сильнейшую сторону сво-

его научного метода – поиск сути явления через критический анализ комплекса наблюдений (раздел 2.1) он сформулировал и почти решил на качественно верном уровне очень сложную научную проблему.

Задача – Леонардеска

87. Возьмите прозрачный сосуд с водой, желательно прямоугольного сечения. Добавьте в воду несколько ложек молока. Сравните оттенки света, прошедшего сквозь толстый слой раствора, и света, рассеянного в поперечном направлении. Объясните эффект.

4.2.2. Моря на луне

В ходе развития гипотезы о сходстве между Луной и Землёй (см. раздел Н-6.2-а. Природа Луны) Леонардо зашёл слишком далеко, пытаясь обосновать существование воды на Луне. Следует напомнить, что занимался он этой проблемой в то время, когда солнце, луна и планеты считались совершенно особыми творениями неземной природы, которые прикреплены к хрустальным сферам, вращающимися вокруг земли. По-видимому, представление о том, что Луна является идеально гладкой сферой, было наиболее распространённым. Возражение Леонардо против этого представления явно слышится в следующей записи:

«Невозможно, чтобы вся поверхность сферического зеркала отражала свет солнца, если только зеркало не имеет волнообразную поверхность или не наполнено сплошь пузырями. Мы видим, что вся поверхность луны - сферического зеркала, которая освещена солнцем, отражает его свет. Следовательно, мы можем заключить, что то, что сияет на луне, есть вода, как на наших морях, а неяркая часть состоит из островов и суши». B.M. 28

Более детально гипотеза о роли волн на поверхности лунных морей в увеличении изображения солнца, которое наблюдатель видит на земле, обосновывается в Ms. F 94 b, Codex Hammer 1A-1r и в B.M. 94 v:

Какие аргументы Леонардо да Винчи выдвигал в поддержку своей гипотезы?

- *«Поверхность вод на луне и на земле всегда более или менее покрыта рябью, и эта рябь является причиной расширения бесчисленных изображений солнца, которые возникают при отражении лучей от выпуклостей, впадин и гребней волн; это те точки, от которых отражённые лучи приходят в глаз. Этого не было бы, если бы вода, поверхность воды, покрывающей значительную часть луны, была идеально сферической, поскольку тогда было бы своё, единственное изображение солнца для каждого глаза, как это ясно видно в золочёных сферах, помещаемых на шпилях высоких зданий».* B.M. 94 v

- *«Луна холодная и влажная. Вода холодная и влажная. Таким образом, наши моря должны выглядеть с луны так же, как луна выглядит с земли».* Ms. F 94 b.

- *«Если ты зафиксируешь внимание на деталях пятен на луне, то заметишь, как сильно они изменяются, и я сам доказал это, делая рисунки. Происходит это потому, что облака поднимаются с водных поверхностей на луне, и тени от облаков закрывают воду».* B.M. 19 r.

Известно, что мозг человека активно перерабатывает изображения, посылаемые в него глазами. И иногда он может увидеть желаемое изображение вместо действительного, особенно, когда очень хочется. Даже великие мыслители не застрахованы против таких ошибок!

Интересно отметить, что современники возражали против мнения Леонардо и выдвигали при этом весьма серьёзный аргумент: *«Каждое плотное тело, которое плотнее воздуха, не может удержаться на нём, если нет какой-то другой причины; и, чем более оно поднимается, тем меньше испытывает сопротивления среды. Поэтому, если бы вода была на луне, она покинула бы луну сама по себе, упала бы на землю и покрыла её, так как вода на луне была бы выше воздуха...».* Hammer 1A-36v

Леонардо остался при своём мнении, а аргумент противников использовал в качестве отправного тезиса при обосновании одного из своих наиболее крупных научных достижений – вывода о существовании собственного тяготения на Луне (см. раздел Н-6.3-б. Тяготение на луне).

Следует отметить, что невозможность удержания атмосферы на Луне была обоснована лишь в конце XIX века на основе зависимости Больцмановского распределения частиц с высотой от ускорения свободного падения.

4.3. Ошибки из-за нарушения разработанного им самим метода

4.3.1. Механизм видения

Рис.84

Проблема механизма видения очень волновала Леонардо. Можно сказать, она находилась на пересечении его интересов в нескольких аспектах живописи (соотношение между объектом и его изображением, перспектива, *кьяроскуро*), в анатомии и физиологии. В начале своих исследований Леонардо разделял Платонову гипотезу о лучах, исходящих из глаза, но вскоре отказался от неё и пришёл в итоге своих наблюдений и анализа к выводу о том, что глаз формирует неперевёрнутое, прямое изображение объекта. Предложенная им схема хода лучей в глазу, **Рис. 84** (С. А. 337 r-a и Ms. D 10 v), представлена во многих публикациях (см. например, 23, 69, 30, 9). Теперь мы знаем, что это представление Леонардо ошибочно. На мой взгляд, этот вывод Леонардо заслуживает не формального подхода («ошибка! и этим всё сказано»), а аккуратного анализа с тем, чтобы установить, на каком этапе исследований и почему он пришёл к ошибочному заключению. Это как раз тот самый случай, когда можно поучиться на ошибках классика, поскольку сохранившиеся записи позволяют проследить ход его мысли при работе над этой проблемой.

Вот как Леонардо обосновывал оптическую схему глаза с двойным переворотом изображения:

«Необходимость обуславливает то, что все изображения предметов, находящихся перед глазом, пересекаются в двух плоскостях, первое пересечение формируется в зрачке, второе внутри хрусталика... Каким бы малым ни было тело, первое изображение в глазу оказывается перевёрнутым, так что при втором переворачивании оно становится таким же как объект вне глаза». Windsor: Drawings 19150 v.

Именно здесь, в начале цитаты «Необходимость обуславливает…» просвечивает тезис, относящийся к категории так называемого «здравого смысла», который столь часто подводит в случаях сложных проблем. Таким образом, Леонардо исходил из предположения, что то, что человек видит, должно соответствовать реально существующему объекту, а, значит, для того, чтобы «правильно понимать» окружающие предметы, глаз должен переворачивать ещё раз первое перевёрнутое изображение.

Анализ предложенной схемы. Аргументы «за»

Анатомия глаза

«Глаз, который столь ясно раскрывает в опыте свою функцию, до меня был бесчисленными авторами определяем одним способом; я путём опыта нахожу, что он иной». C.A. 119 v-a

Так в чём же состояло отличие в строении глаза согласно опытам Леонардо? Во-первых, в попытке самостоятельно аккуратно исследовать его структуру. При надрезании оболочки глаза его содержимое вытекает. Для того чтобы обойти это препятствие, Леонардо использовал оригинальный метод:

«При анатомировании глаза, для того чтобы хорошо разглядеть что внутри, не проливая его влаги, надобно положить глаз в яичный белок, прокипятить и укрепить, разрезая яйцо и глаз поперёк, дабы из средней части ничего не вылилось». Ms. K 119 r

К сожалению, в данном случае изобретение подвело автора, и полученная при анатомировании сваренного глаза ошибка направила исследования в неверном направлении. Различие в структуре различных частей глаза приводит к тому, что хрусталик, представляющий в живом глазе двояковыпуклую линзу, передней поверхностью примыкающей к роговой оболочке, при нагревании превращается практически в шар и, более того, отходит от роговой оболочки и смещается к центру глаза. Именно отделение зрачка от хрусталика позволило прорисовать схему хода лучей с формированием в итоге не перевёрнутого, а прямого изображения.

Второй принципиально важной ошибкой Леонардо было то, что он не понял истинного назначения сетчатки и считал, что изображение воспринимается на «чувствилище», глазном нерве. А ведь на самом деле в этом месте глаза находится так называемое «слепое пятно».

Пирамидальная структура процесса видения

Леонардо был сторонником представления, предложенного Альхазеном (965-1039) и развитым Леоном-Баттистой Альберти (1404-1472), о пирамидальной структуре процесса видения:

«Все наблюдаемые вещи приходят в глаз линиями пирамиды, и вершина пирамиды находится в середине зрачка... Зрачок не даёт ничего в совершенном виде за исключением случаев, когда объект расположен на прямой линии, проходящей через центр зрачка. Если глаз хочет прочитать буквы, которые помещены перед ним, он должен переходить от одной буквы к другой, поскольку он не может различить их, когда они не находятся на этой прямой линии». Ms. I, 38

Леонардо успешно применял «пирамидальный закон» при описании перспективы, освещённости, законов движения. В соответствии с этим законом, если источник некоего воздействия находится в вершине пирамиды, существенный параметр процесса убывает с расстоянием R как 1/R2. И, наоборот, как, например, *«при отражении теплоты солнца от вогнутого зеркала в виде пирамиды: чем более пирамида суживается, тем более в соответствующей пропорции приобретает силы».* Ms. G 89 v.

Интересно отметить наличие принципиальной общности между этим представлением и концепцией силовых линий, предложенной и успешно применявшейся Фарадеем в 1820-х годах при описании электрического поля.

Камера-обскура

Формирование изображения освещённого объекта на экране с помощью малого отверстия в стенке было известно ещё Аристотелю (384-322 до н.э.), Альхазену (965-1039) и Роджеру Бэкону (1220-1292). Изо-

брёл ли Леонардо да Винчи камеру-обскуру независимо от упоминаний этого прибора у великих предшественников, в конечном счёте, не столь важно. Существенно то, что он первым дал правильное объяснение её действия, притом сделал это в связи с анализом работы глаза в Manuscript D. Его подробный анализ формирования изображения в камере-обскуре (см. раздел Н-5.3-в) завершается словами *«и также происходит в зрачке»*.

Попытки подтвердить предложенную гипотезу

Схема эксперимента, **Рис. 85**, С.А. 337 г-а, максимально приближена к предложенной модели видения. Малое отверстие в непрозрачной стенке в этой схеме соответствует зрачку, за ним помещается стеклянный шар – «хрусталик», радиус и положение которого можно изменять, стекловидное тело убрано для упрощения моделирования. В комментарии к рисунку повторяются слова о формировании перевёрнутого изображения предмета за зрачком, последующем пересечении преломлённых лучей в центре сферы и построении прямого изображения за стеклянным шаром. Что должен был бы обнаружить Леонардо, если бы на самом деле проводил исследования в такой оптической системе? Довольно легко было бы заметить, что ход луча, вошедшего в отверстие под заданным углом, зависит от радиуса шара и его положения относительно отверстия, и что точка второго пересечения лучей может оказаться или внутри шара, или за ним. Но очень сомнительно, что в эксперименте он смог бы при разумных размерах системы увидеть на полупрозрачном экране, поставленном за шаром, прямое изображения предмета. Обескураживающий результат!

Он предлагал также смоделировать глаз, изготовив большой стеклянный шар с полостью для лица, чтобы увидеть ход лучей, Ms. D 3 v.

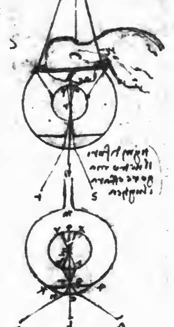


Рис.85

Аргументы против. Альтернативные модели

В своих научных исследованиях Леонардо да Винчи всегда руководствовался правилом: рассматривать явление в целом и в ходе исследования регулярно возвращаться к анализу возможного влияния на процесс неучтённых параметров и эффектов, которые при постановке проблемы считались несущественными, к самоконтролю посредством рассмотрения аргументов «за» и «против». Тем более в данном случае, когда в эксперименте не удалось подтвердить формирование прямого изображения в предложенной оптической системе глаза. Первый из неаккуратно учтённых эффектов, по мысли Леонардо, мог быть связан с конечным размером зрачка – местом построения вершины пирамиды лучей, приходящих от объекта в глаз:

«Зрительная способность не заключена лишь в точке, как это хотелось бы живописцам-перспективистам, но вся находится во всём зрачке, откуда образы предметов проникают внутрь глаза из пространства, большего, чем величина такого зрачка». Ms. D 10 v

О том, что вся поверхность зрачка принимает участие в процессе видения, Леонардо сам писал также в другом месте, отмечая изменение диаметра зрачка в зависимости от освещённости. Если бы Леонардо не был обманут своим исследованием анатомии глаза, и знал, что зрачок на самом деле является передней поверхностью хрусталика – двояковыпуклой линзы, то за этим положением с большой вероятностью могло бы последовать исследование в правильном направлении. Хотя едва ли у него был шанс провести аккуратно анализ хода лучей в системе, потому что формула линзы и понятие о коэффициенте преломлении в то время ещё не существовали.

Проблема, говоря на современном научном языке, разрешающей способности является вторым существенным аргументом «против» обсуждаемой системы, поскольку после второго переворота изображения внутри глаза лучи формировали вершину итоговой пирамиды на «чувствилище», глазном нерве:

«Изображение любой огромной массы, которая может быть поделена на бесконечное число частей, также может быть поделено до бесконечности». Windsor: Drawings 19151 r.

«Если все изображения, которые приходят в глаз встречаются в вершине угла, то, по определению угла, они встречаются в математической точке, которая неделима.... Но опыт показывает нам, что все вещи, разделённые в пространстве, воспринимаются глазом раздельно и определённо, и что сила, впечатывающая изображения объектов, делима на столько частей, сколько деталей изображения мы видим. Мы заключаем поэтому, что чувствилище воспринимает изображение, которое построено на поверхности глаза, а не в точке, и, следовательно, не в вершине угла». Ms. F 34

Это заключение также подталкивало к уточнению, на какой поверхности формируется изображение, то есть тоже вело к поиску альтернативного решения о ходе лучей в глазу.

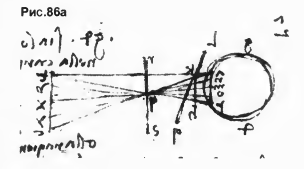
Эксперименты в экстремальных условиях – рассматривание предмета на запредельно малых расстояниях.

Здесь речь пойдёт о действительно необычной постановке исследований. Даже в привычной ситуации при анализе наблюдений достаточно удалённых объектов у Леонардо возникли обоснованные сомнения в достоверности предположения о двойном переворачивании изображения в глазу. И он предлагает целую серию экспериментов по изучению особенностей зрительного восприятия в условиях, когда объект находится очень близко от зрачка, вплоть до расстояния в несколько миллиметров. Для чего так? Ведь при этом, как Леонардо специально отмечает, глаз не даёт чёткого изображения. Фактически, это постановка, не обсуждавшаяся ранее, и Леонардо хочет получить информацию о том, как работает глаз в таких экстремальных условиях. В Манускрипте D несколько страниц из 20 посвящены именно описанию постановок экспериментов по исследованиям работы глаза при малых расстояниях до объекта: здесь и эффект размытия границы тела - Ms. D 10 v, и объяснение, почему сетка из конского волоса перед глазом не загораживает удалённый объект - Ms. D 6 v, и, наконец, опыты с экраном, в котором сделано малое отверстие - Ms. D 2 v и Ms. D 4 v. Один из таких опытов мы рассмотрим подробнее.

Уважаемый читатель! Остановитесь, пожалуйста, перестаньте просто читать книгу! Проведите вместе с Да Винчи простые, и поразительно красивые эксперименты, позволяющие своими глазами увидеть суть процесса видения. Весьма вероятно, что читатели, не имеющие университетского образования по физике, не знают, как на самом деле строится изображение в глазу. Тем лучше, тогда они находятся в том же положении, что и Леонардо 500 лет назад! Возьмите обычную открытку, сделайте в ней, следуя указанию Леонардо, маленькое отверстие, диаметром около 1 мм. Для проведения опытов Вам понадобится ещё портновская булавочка с круглым ушком, а ещё лучше взять тонкую проволочку и свернуть её кончик кольцом (в опытах Леонардо использована иголка или соломинка, но присутствие иголки рядом с глазом опасно). Вот как Леонардо описывает эксперимент с иголкой перед глазом, **Рис.86-а**:

«О том, верно ли, что любая часть зрачка обладает зрительной способностью, и что такая способность не сведена в точку, как думают перспективисты. Здесь опыт показывает обратное. Пусть большой иглой будет сделано в куске картона отверстие, величиною примерно в просяное зерно, и этот картон поставлен против зрачка глаза на расстоянии трети или четверти локтя. Через это отверстие смотри на воздух pq. Далее, помести иглу или соломинку между зрачком глаза и отверстием в картоне. Двигай эту иглу вниз и вверх, вправо и влево, навстречу (1) твоему зрачку и ты ясно увидишь в воздухе, что по ту сторону такого отверстия образ (2*) этой иглы совершает все движения в направлениях, противоположных тем, что ты производишь.... Обозначим зрачок глаза кружком st; картон abcd с отверстием r поставлен на расстоянии 1/3 локтя /а ещё лучше 5-7 см – М.М./ перед*

Рис.86а



глазом; толщина иглы, расположенной возможно ближе к глазу r и пусть она медленно движется по эту сторону от названного отверстия из n в m. Тогда ты увидишь (2) образ этой иглы двигающимся в воздухе по ту сторону этого отверстия из q в p, то есть в противоположном направлении (3*). И это происходит оттого, что при движении иглы из n в m образ её в воздухе поднимается из q в p и всегда пересечение прямых линий подобных образов, или, если угодно, тени (4*) такой иглы, будет в точке g (5*). И так по ту сторону отверстия всегда будет меняться всякое движение, совершаемое в каком-либо направлении. Если бы зрительной способности (6*) не было в s, ты не видел бы образа такой иглы в q , а если бы её не было в t , ты не видел бы его в p. То же приложимо к любой части это зрачка».* Ms. D 4 v

Итак, ранее Леонардо следовал мнению Галена, полагая, что хрусталик является органом восприятия. Положения в цитированном тексте, отмеченные звёздочкой, показывают, что Леонардо искал альтернативные модели построения изображения в глазу:

2*. В новой модели зрения Леонардо считает, что глаз строит «образ» иголки, находящейся между зрачком и отверстием в экране, в виде перевёрнутого изображения по ту сторону от экрана. Расстояние, на котором находится «образ», не определено, построением определяется лишь угол, под которым он виден из отверстия в экране.

3*. Переворот изображения осуществляется лучами, проходящими через малое отверстие (5*) в экране, по аналогии с построением изображения в камере – обскуре. Положение изображения определяется углом, под которым он виден из отверстия в экране, по аналогии с камерой-обскурой, где действительное изображение получается на любом расстоянии за экраном. Никакого обоснования такого альтернативного подхода к проблеме видения не дано.

4*. Леонардо произносит также ключевое слово «тень», которое, если бы он поверил своему восприятию, привело бы его к правильному пониманию механизма зрения.

1*. В начале комментария к рисунку Леонардо отметил, что данная схема позволяет исследовать, как изменяется воспринимаемое глазом изображение при смещении иглы вперёд, от зрачка к отверстию в экране. Что при этом наблюдается, он не описал. Не проводил или не понял?

Давайте проведём это эксперимент сами.

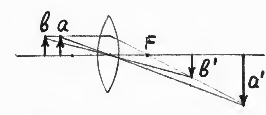


Рис.86б

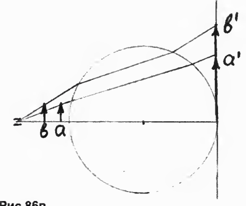


Рис.86в

Отодвигайте булавку от глаза к отверстию в экране. Что Вы увидели? Перевёрнутое изображение булавки становится при приближении к отверстию более чётким, и, увеличивается. Естественно, хочется сравнить эту картину с привычной ситуацией, с тем, что будет наблюдаться при тех же положениях булавки, но при отсутствии экрана с отверстием. Изображение, в этом случае прямое, при отодвигании булавки от глаза уменьшается, **Рис.86-б**, как и полагается при обычной работе глаза вследствие уменьшения угла зрения. Изображение размыто, поскольку глаз не рассчитан природой на рассматривание так близко расположенных объектов. При удалении булавки от глаза чёткость изображения возрастает. Но оптическая система глаза работает в обычном режиме: чем дальше объект, тем меньше угол зрения и, соответственно, изображение. Так в чём же причина такого различия? Разумное, само собой напрашивающееся объяснение состоит в следующем. Свет, проходящий через малое отверстие в экране, создаёт в глазу тень булавки, **Рис. 86-в**! То, что это просто тень, а не некий «образ» булавки по ту сторону от экрана, легко проверить, если на отверстие в булавке приклеить кусочек кальки, наполовину закрашенной чернилами. Тень можно получить и на листе бумаги, если поставить его на место глаза, но тень будет неперевёрнутая! И какой же вывод мы с Вами

сделаем из этого эксперимента? Вывод, основанный не на каких-то априорных заявлениях, а непосредственно на наших собственных наблюдениях: в опыте с булавкой, находящейся между отверстием в экране и глазом, свет, идущий из отверстия, создаёт на задней поверхности глаза тень, притом прямую. Но «чувствилище», говоря словами Леонардо, а по существу - зрительный аппарат мозга по привычке переворачивает это изображения. Вот и всё. Как просто и красиво! *«Природа не нарушает свои законы!»*

Итак, предложив схему опыта с объектом, который перемещается перед малым отверстием в экране, установленным перед глазом, Леонардо да Винчи был фактически всего лишь в полушаге, а, точнее сказать, в нескольких миллиметрах от открытия механизма видения. Но, к сожалению, он не заметил соответствующего эффекта, и открытие было сделано И. Кеплером (1571-1630). Хотя, может быть, я несколько оптимистичен, и Леонардо было бы не столь легко сделать правильный вывод из эффекта, наблюдаемого при перемещении иголки к отверстию. Ведь несколько исследователей [23, 69, 9] обсуждали эти его эксперименты, даже красиво перерисовали, чтобы понятнее было, но не вдумались, не заметили, не оценили.

Глубокоуважаемый читатель, для того, чтобы тезис «Умные учатся на чужих ошибках, глупые – на своих», давайте чётко определим, какие положения своего собственного, столь эффективного научного метода нарушил Леонардо да Винчи при изучении проблемы видения.

- Во-первых, он априори принял предположение о том, что в глазу формируется прямое изображение предмета, за истину, и нарушил при этом важнейшие положения своего метода: «Природа руководствуется логической необходимостью присущих ей законов» (пункт 1.8 согласно предлагаемой схеме), и поэтому учёный в своих исследованиях всегда должен критически относиться к исходным гипотезам, может быть и сформулированным на основе достаточно разумных посылок. *"Мысль наблюдателя должна проникнуть в мысль природы и действовать как интерпретатор для того, чтобы выявить причины и проявления её законов"* (пункт 2.2. Суть явления).
- Тщательность наблюдений (*«для объяснения моих работ опыт нужен более, чем слова других»* - пункт 1.2).
- Крупный и малый масштаб (пункт 1.5). Удивительно, но Леонардо, столь тщательно фиксировавший малейшие детали изучаемого явления в многочисленных рисунках, не понял при анатомировании глаза назначение сетчатки.
- *"Моё намерение – сначала поставить эксперимент, а затем показать причины, почему процесс идёт именно таким образом"* (определяющая роль эксперимента, 3.3.1). Придумав такую красивую постановку эксперимента с иголкой перед зрачком, он не провёл намеченных исследований и потому не смог завершить построение модели, согласующейся с правильно сформулированными им требованиями.

Задача – Леонардеска

88. *«Размах крыльев у пеликана 5 браччиа, его вес 25 фунтов; таким образом, его размер равен квадратному корню из веса. Человек весит 400 фунтов, и квадратный корень из этого числа 20; поэтому для полёта ему необходимы крылья с размахом 20 браччиа».* C.A. 302 r.b

Найдите ошибку в этом заявлении. На самом деле, Леонардо исправил эту ошибку, сравнив на той же странице соответствующие параметры орла и летучей мыши.

V. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Собирался ли Леонардо да Винчи публиковать результаты своих научных исследований? - Да. Сторонники противоположного мнения ссылаются на то, что большая часть его научных результатов разбросана по разным манускриптам, представляет собой в основном черновые записи для себя. Но уж слишком часто среди его записей встречаются прямые обращения к читателям *«Читатель,...», «О, Читатель, почему...»* и т.п. К тому же, например, в отношении его намерения опубликовать работы по анатомии сохранились свидетельства современников, его друга, выдающегося Итальянского математика Луки Пачиоли и секретаря кардинала

Арагонского, который посетил его в Амбуазе. После небольшой доработки могли быть опубликованы и «Трактат о Живописи», и «Трактат о Воде», результаты исследований по механике, по происхождению раковин на горах и многие другие. Так почему же он ничего не опубликовал?

Можно отметить несколько наиболее вероятных причин. По-видимому, первой из них является невостребованность результатов научных исследований в той среде, в которой он жил. Первые печатные книги редко имели отношение к естественным наукам. «Альмагест» Птолемея был напечатан на латыни лишь в 1515 г. Основными заказчиками книг были университеты и церковь, а Леонардо не преподавал и имел весьма непростые отношения с церковью. Во-вторых, и это является самым большим тормозом для многих исследователей до сих пор, всегда хочется что-то доработать, проверить, более аккуратно обосновать. Поговорка «лучшее-враг хорошего», конечно, правильна, но слова эти произносятся обычно людьми, которые сами-то не сделали крупных открытий. И, наконец, иллюстрации в течение 400 лет книгопечатания, производились гравированием, что потребовало бы огромных затрат при издании результатов исследований Леонардо да Винчи, где большая часть информации содержалась именно в рисунках. Именно поэтому, очевидно, не был опубликован его «Трактат по Анатомии». В книге O'Malley и Saunders "Leonardo da Vinci on the Human Body", изданной в 1952 г., представлено 215 (!) крупноформатных страниц анатомических рисунков Леонардо из Виндзорского Кодекса, причём на каждой странице по несколько рисунков. Следует отметить, что Андреа Везалий, автор "De Humani Corporis Fabrica", изданного в Брюсселе в 1543 г., обучался медицине в Париже и Левене, получил звание Профессора Хирургии в Университете Венеции, был придворным врачом императора Карла V, военным хирургом. Рисунки для его книги выполнил в основном художник Ян ван Калкар, ученик Тициана.

Если не издание трудов в печатном виде, то что же? Какими способами Леонардо мог сохранить результаты своих научных исследований для будущих поколений? В допечатный период рукописные книги ценились очень дорого. Существовали специальные мастерские переписчиков книг, обычно при монастырях. Отдавал ли Леонардо свои рукописи переписчикам? Мало вероятно, ведь они были ещё не чистовыми. Давал ли он рукописи для ознакомления коллегам? Несомненно. В Миланский период в их числе были Лука Пачоли, Фацио Кардано, учёные из университетов в Падуе и Болонье. По-видимому, именно таким путём стали известны современникам и ближайшим последователям его выводы о невозможности построения вечного двигателя, о далёком прошлом Земли, результаты по космологии, анатомии, некоторые изобретения.

Тиражирование информации о наиболее важных результатах

Если рукописи не размножены, то главной опасностью, угрожавшей потерей информации, была пропажа манускрипта или его порча при пожаре или при другом стихийном бедствии. Для того чтобы как-то обезопасить результаты своих исследований, Леонардо прибег к простому приёму – записи результатов исследований не в одном, а в нескольких манускриптах.

Мы подробно рассматривали в предыдущей главе, как Леонардо да Винчи в течение многих лет искал научное обоснование общепринятого в течение 1800 лет представления о том, что вода приходит в источники на горах по подземным венам из моря, прежде чем смог обоснованно прийти к правильному заключению. Вот как этот вывод, очень важный для самого Леонардо и его современников, представлен в трёх его манускриптах:

• *В Виндзорском Кодексе:*

«Происхождение моря противоположно происхождению крови, потому что море получает в себя все реки, которые создаются только лишь за счёт паров воды, поднявшихся в воздух». Windsor 19003 г.

• *В Атлантическом Кодексе:*

«Воды рек происходят из облаков, а не из моря». C.A. 160 v-a

• *В Манускрипте G:*

«Облака, порождающие реки, никогда не приносят соль». Ms.G 48 v

К этим записям следует добавить представление того же результата исследований в виде образной басни, легко воспринимаемой слушателями:

«Пребывала вода в своей стихии – в гордом море; но пришло ей желание подняться выше воздуха; и с помощью элемента огня вознеслась она тонким паром и казалась почти такой же тонкости, что и воздух. Но, поднявшись в высоту, очутилась она среди воздуха, ещё более холодного и тонкого, где её покинул огонь; и малые её частицы, будучи сжимаемы, соединились и стали тяжёлыми; и при падении её гордыня обратилась в поражение. Так вот и упала она с неба, потом выпила её сухая земля, где долго пребывала она в заточении за свой грех». Forster III 2r

В басне правильно указаны все **этапы кругооборота воды в природе и их причины:** испарение воды с поверхности моря с поглощением тепла; вознесение её «тонким паром» (а все ли читатели знают, что молекулы водяного пара возносятся в воздухе потому, что молекулярная масса воды равна 18, а воздуха 29?); образование на высоте в области достаточно низкой температуры капелек воды из отдельных молекул (процесс конденсации); долгое пребывание в земле, пока вода не вернётся обратно в море.

При окончательном просмотре текста я получил от «внутреннего критика» замечание, что, может быть, не следовало выделять обсуждаемую особенность текстов Леонардо к качестве специфического положения его научного метода, поскольку она фактически связана со столь характерным для него неоднократным независимым возвращением к проблеме (раздел 3.7.2). Да, конечно, эти два положения связаны. Но всё же, по-моему, их стоит разделить, особенно, поскольку нередки случаи наличия одиночных записей о важных научных положениях, не связанных с основным текстом. Один из ярких примеров, запись крупным шрифтом *«Солнце не движется»*, Quaderni V, 25 r. в рукописи медицинского содержания на странице с математическими заметками. Вполне возможно, что существовал и основной текст на эту тему, уничтоженный позднее владельцем рукописи из-за его крамольного, с позиции церкви, содержания.

Явная фальсификация для привлечения внимания

Это весьма необычный, может быть, даже и уникальный случай в истории науки, когда явная фальсификация представляемых результатов исследований использовалась для привлечения внимания к выводу по архиважной проблеме. Если бы очевидная подгонка экспериментальных данных под заключение по поводу важной проблемы была единичной, такой факт можно было бы рассматривать как случайный просмотр, описку, специфическую «шутку», в конце концов. Но, когда не одно, а два явно фальсифицированных результата касаются проблемы невозможности построения вечного двигателя, это уже не случайность! Тем более в манускриптах гениального учёного, которые, хоть и не были подготовлены к публикации, но, как надеялся Леонардо, попадут через какое-то время в руки внимательного читателя. Недаром он столь бережно хранил свои записи, которые весьма условно могут рассматриваться как «черновики» в современном смысле этого слова, и завещал все свои записи, рисунки и инструменты своему ученику Франческо Мельци.

Как было отмечено в разделе Н-2.1, на завершающей стадии исследований по проблеме построения вечного двигателя Леонардо да Винчи указал, что невозможность вечного вращения типичной конструкции – колеса с грузами следует из анализа перемещения центра масс системы. Если центр масс тела смещён по горизонтали относительно положения оси вращения, это создаёт вращающий момент и вызывает вращений в соответствующем направлении; совпадение горизонтальной компоненты центра масс с положением оси вращения есть условие равновесия. Леонардо рассмотрел также и условия движения и покоя тела в зависимости от вертикальной компоненты центра масс. При равновесии центр масс тела находится под осью вращения, смещение из положения равновесия приводит к поднятию центра масс.

Схема на **Рис.6** в разделе Н-2.1. «Вечный двигатель» (Madrid MS II, 145 г) с показанными в верхней части рисунка координатами грузов по горизонтальной оси в соответствии с комментариями Леонардо является обоснованием того, что система находится в состоянии равновесия. Согласно представленному анализу 4 груза справа от оси вращения уравновешивают 7 грузов, находящихся слева от оси вращения, и суммарный вращающий момент равен нулю. В тексте раздела Н-2.1. после описания этого фундаментального результата Леонардо да Винчи я процитировал его второе, альтернативное обоснование невозможности вечного движения колеса, исходящее из стремления центра тяжести системы занять наинизшее положение по вертикали при повороте колеса. Для большей убедительности фундаментального вывода Леонардо о том, что система, изображённая на рисунке, находится в состоянии равновесия, мне захотелось выполнить за Леонардо расчёт вертикальной координаты центра масс грузов и подтвердить, что, действительно, центр масс системы грузов находится в самом низшем положении и уже при малом повороте поднимается. Но, увы! Расчёт показал, что центр масс системы опускался при поворотах колеса против часовой стрелки на 5 - 8 градусов. Но ведь такого быть не может, что для заданного положения системы грузов в положении равновесия одно из физических условий равновесия – равенство нулю суммарного момента сил выполнялось, а другое, говоря на более привычном для нас языке, условие минимума потенциальной энергии – не выполнялось! Несколько раз перепроверив свой расчёт, я обнаружил причину такой парадоксальной ситуации. Оказывается, расстояние между рисками на верхней линейке на рисунке Леонардо слева от линии, проходящей через ось вращения, значительно больше, чем справа. Различие в 6% слишком велико для того, чтобы быть случайным. Леонардо, столь наблюдательной и аккуратный при описании своих наблюдений, пошёл из соображений большей эффектности заявления (4 груза уравновешивают 7!) на подгонку данных под желаемый результат. В современном научном журнале такого типа подгонка, конечно, была бы замечена и, несомненно, привела бы к отрицательному отзыву рецензента. Поразительно, но Мадридский Кодекс был опубликован более 30 лет назад, в 1974 году, схема «вечного колеса» с пометками Леонардо была представлена во многих публикациях, в том числе на шмуцтитуле книги «The Unknown Leonardo», под редакцией Ладислао Рети, но никто не заметил фальсификации, допущенной Леонардо да Винчи.

Запись в Мадридском Кодексе I с формулировкой Принципа Невозможности Построения Вечного Двигателя была сделана около 1493 года. Видимо, несколько позже, Леонардо пошёл на ещё более рискованный шаг с точки зрения этики современного учёного. В Кодексе В.М., 34 v имеется запись о создании **работающей модели вечного двигателя** с нижней частью колеса, погруженной в воду. В разделе Н-2.1. схема устройства показана на **Рис.3.** Любопытен комментарий к этому рисунку: *«сделай модель под большим секретом и широко объяви об её демонстрации»*. В чём же состоит секрет модели? Из последующих пояснений становится ясно, что поскольку «мёртвая вода» не может заставить машину работать, Леонардо решил организовать незаметный поток «живой воды», который закрутит колесо. На рисунке показан один из возможных вариантов секретного решения: отверстия на дне и наверху в стенке сосуда (на Рис.3 справа). Осуществил ли Леонардо да Винчи этот замысел? Видимо, да, поскольку в круг «служебных обязанностей» Леонардо при княжеском дворе входила организация различных празднеств и развлечений, и это к тому же соответствовало его репутации талантливого учёного и инженера. Но каков был бы результат демонстрации? Попытка показать своё всемогущество? Исключено, ему не нужна была мистическая поддержка репутации учёного. Но тогда остаётся лишь единственное разумное объяснение: привлечь внимание к модели работающего «вечного двигателя», а затем объяснить его секрет и тем самым обнародовать своё крупное научное достижение - вывод о невозможности построения вечного двигателя. И он добился своей цели! Ближайший последователь Леонардо миланец Джироламо Кардано (1506 - 1576), а вслед за ним и Симон Стевин, и Галилео Галилей использовали принцип невозможности вечного двигателя уже как твёрдо установленный закон природы при анализе частных проблем.

VI. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА

Для того чтобы подтвердить полезность работы по реконструкции Научного Метода Леонардо да Винчи (35 лет скрупулёзных исследований!), рассмотрим в соответствии с последовательными пунктами предложенной схемы постановку и решение нескольких проблем: 1) исследования Леонардо по трению (фундаментальная научная и прикладная проблема); 2) выяснение механизма деформации металлов при экстремальных условиях ударно-волнового нагружения (фундаментальная научная проблема); 3) изобретение устрой-

ства для повышения безопасности пассажиров при автомобильной катастрофе (инженерная проблема); 4) открытие способа производства литой Дамасской стали (прикладная проблема). Если в первом случае – анализе работ Леонардо по трению – восстановление шаг за шагом его логики исследований, вообще говоря, гипотетично, в трёх других примерах существенно разного характера восстановление последовательных шагов, приведших к решению, не может вызвать сомнения, поскольку это работы автора. Надеюсь, молодым исследователям и студентам представленный ниже методический анализ окажется весьма полезным.

6.1. Исследования Леонардо по трению

I. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Проблемы, обсуждавшиеся предшественниками

Предшественники Леонардо да Винчи, начиная с античных греков, изучали некоторые аспекты трения. Так, например, было известно, что сопротивление движению тела можно уменьшить, поместив под тяжёлое тело слой шаров. Во многих давно известных проблемах творческий подход Леонардо позволил прийти к фундаментальным выводам и найти важные технические решения.

1.2. Наблюдение. 1.6. Потребности практики

Несомненно, интерес Леонардо да Винчи к изучению трения, сути этого явления, к возможности уменьшить его вредное влияние на движение тел проистекает из двух источников - наблюдений и потребностей практики.

1.4. Явление в целом

В записных книжках Леонардо можно найти записи, относящиеся к широкому набору процессов и эффектов, в которых трение играет важную роль. Вот лишь некоторые, на мой взгляд, самые интересные из этих записей:

- *«Простое трение есть процесс, при котором объект тянется вдоль плоской гладкой поверхности без каких-либо других вмешательств...».* Forster II, 131 v.
- *«Сложное, или комбинированное трение есть процесс, при котором смазка или какое-либо другое жидкое вещество находится между трущимися телами...».* Forster II, 131 v.
- *«Различные углы наклонной плоскости создают разные степени сопротивления на контакте...».* Forster II, 87 r.
- Трение осей колёс [Forster II 131 v.].
- *«Трение речной воды о дно и берега вызывает процесс разрушения»*, Ms. E 4 v.
- *«Трение о воздух определяет необходимую мощность движителя»* - записал Леонардо при анализе проблем полёта [C.A. 161 v-a.].
- Влияние поверхностного слоя на сопротивление движению тела в воде: *«Выделение некоей слизи, которую трудно отделить с поверхности рыбы, играет ту же роль, что смола, покрывающая корабль».* Forster III 38r. Интересно, что в 1960-е годы предпринимались попытки использовать слизь рыб-рекордсменов для уменьшения сопротивления движению в воде торпед и подводных лодок.
- Сильное трение создаёт огонь [Forster II, 131 v.].
- Движение плотного тела в воздухе вызывает возникновение звука [Ms. F 56 v.].

1.5. Большой и малый масштаб

Большой масштаб: дорога, тело, тяжи, оценка величины силы, требуемой для перемещения тела.

Малый масштаб: особенности структуры на контакте трущихся поверхностей.

1.7. Жажда знаний

Взгляните внимательно с этой точки зрения на приведённый выше список явлений, связанных с трением, которые привлекли внимание Леонардо.

II. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

2.2. Независимость

Как отмечалось выше, античные и средневековые предшественники смогли достичь качественного понимания ряда аспектов трения и найти некоторые практически важные технические решения. Но глубина подхода Леонардо к этому сложному явлению, его экспериментальные установки и анализ беспрецедентны.

2.2. Суть явления

«Трение тел делится на два главных вида, а именно текучее с текучим и плотное с плотным. Из них получается третий вид: текучее может тереться о плотное и плотное о текучее. Есть ещё четвёртый вид трения, к которому относится, например, трение колёс, движущихся по земле; оно не ломает, а только прикасается, и можно сказать, что оно имеет природу ходьбы шагами бесконечной малости.

Трущиеся движения бывают двоякие, а именно: горизонтальные и наклонные, и никогда не бывают направлены к центру мира, разве только опосредствованным образом». С.А. 209 v-a.

«Если ты хочешь узнать точную величину силы, требуемой для перемещения груза в сто фунтов по наклонной дороге, необходимо знать природу контакта, которую имеет груз с ровной поверхностью, где возникает трение при движении, потому что разные тела имеют разные типы трения...». Forster II, 87r.

2.3. Систематичность

Работы Леонардо по изучению трения включают: изобретение установки для измерения силы трения; эксперименты с разными парами трения; установление фундаментальных законов трения для гладких и шероховатых поверхностей; разработку способов уменьшения трения (смазка, сплав типа баббита для сильно нагруженных поверхностей, изобретение подшипника и нескольких методов уменьшения трения в осях); использование трения для поглощения энергии при ударе.

2.4. Приложения

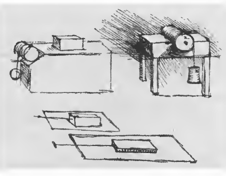
Необходимость уменьшения вредного эффекта трения является ключевой проблемой для многих машин и процессов. Работы Леонардо по уменьшению трения были связаны, в частности, с его многолетними попытками создания вечного двигателя и с необходимостью перемещения создаваемой им колоссальной конной статуи Франческо Сфорца. Согласно проекту, она была бы самой большой из когда-либо отлитых бронзовых скульптур. Высота глиняной модели Коня, изготовленной Леонардо, составляла 7.2 м. 15–тонная бронзовая копия Коня была сооружена и установлена в Милане лишь через 500 лет, в 1999 году, под руководством скульптора Нины Акаму.

III. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

3.1. Вторичные наблюдения

«Рассмотри трение больших грузов, перемещению которых сопротивляется трение... зёрна проса облегчают перемещение, ещё более сильный эффект получается от деревянных шаров или роликов... чем ролики больше, тем более лёгким становится перемещение». Forster II 132 r.

Рис.87



3.3. Эксперимент

Леонардо да Винчи сконструировал простой прибор для исследования трения, **Рис. 87**, Arundel 263, 41 r. Вы можете увидеть аналогичные рисунки в учебниках по физике, но под именами учёных, которые через два-три столетия вновь открыли закон трения (для гладких поверхностей) – Г. Амонтон (1699) и Ш. Кулон (1781).

3.4. Анализ результатов

При анализе сути процесса на поверхности контакта при перемещении тела Леонардо да Винчи указал на наличие двух принципиально отличных случаев сухого трения, а именно, первый случай, когда сила трения не зависит от величины поверхности контакта, и второй случай, когда сила трения пропорциональна величине поверхности контакта.

1) Гладкие поверхности

На **Рис. 82** представлена схема экспериментов Леонардо по изучению трения. В соответствии с нижним рисунком, сила трения измерялась на одном и том же теле, то есть при той же массе, при разных значениях поверхности контакта.

- Леонардо да Винчи впервые обнаружил в экспериментах, что **сила трения не зависит от величины поверхности контакта и пропорциональна силе нормального давления, F~N** в современных обозначениях: *«Сопротивление, оказываемое в начале движения* /это уточнение указывает, что Леонардо заметил также разницу между силой трения покоя и силой трения при скольжении – М.М./ *на один и тот же вес, будет одно и то же при различных значениях длины и ширины основания».* Forster II, 132.

- Леонардо да Винчи первым ввёл понятие о коэффициенте трения μ в соотношении между силой трения и силой нормального давления **F = μN.** Он показал также, что коэффициент трения зависит от природы и качества поверхностей: *«Нужно знать природу контакта тела с поверхностью, по которой оно движется, потому что разные тела имеют разное трение; так, если имеются два тела, одно с поверхностью гладкой и отполированной и к тому же смазанные маслом или мылом, и перемещается оно по такой же поверхности основания, то смещение будет происходить гораздо легче, чем в случае тел с поверхностями, обработанными песчаником или напильником».* Forster II, 86. Согласно его измерениям, по-видимому, для наиболее важной на практике пары дерево-дерево значение коэффициента трения было около 1/4: *«Тяжёлое тело, которое движется без качения, причём трущаяся поверхность гладкая, всегда будет иметь силу трения, равную одной четверти своего веса».* C.A. 198 v-a. И, действительно, согласно справочным данным, среднее значение коэффициента трения для пары дерево – дерево равно 0.3, для пары сталь – сталь – около 0.15.

2) Шероховатые поверхности

Леонардо выделил особый случай трения, а именно, трение грубых, точнее сказать *зацепляющихся* поверхностей, где сила трения оказывается пропорциональной величине поверхности контакта:

«В теле одинаковой скользкости, но с неодинаковыми сторонами, трение, производимое любой из этих сторон, сохранит силу сопротивления своему двигателю.

В теле с неодинаковыми сторонами, если они шероховатые, трение на большей стороне будет больше. Доказательство: если частица гибкой шероховатой поверхности, например, сукна, обладает сопротивлением, равным единице, то необходимо, чтобы четыре частицы оказывали сопротивление равное 4, и сто - сопротивление, равное 100. Но если частица нагружена большой тяжестью, то она подаётся, и тело, которое должно тереться, не встречает больше этой частицы, мешающей ему, ибо она подалась, расплющилась и лишилась всякого сопротивления». C.A. 72 v-b

Примеры схватывающихся поверхностей: идеально гладкие поверхности, где по большим площадям осуществляется контакт на атомном уровне; широко используемые в современной одежде и обуви пары типа поверхности с крючками плюс шероховатая материя. Отметим, что этот важный тип трения даже не упоминается в современных учебниках.

3) Тело на наклонной плоскости

«Если гладкая наклонная поверхность приводит к тому, что гладкое тяжёлое тело весит по линии движения одной частью своей тяжести, то тяжёлое тело само по себе предрасположено опускаться вниз». C.A.198 v-a

4) Трение качения

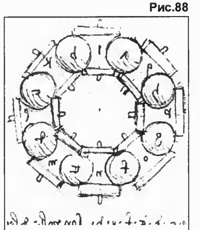
Леонардо понимал принципиальное отличие трения качения от трения скольжения:

Качение колеса по дороге *«происходит посредством бесконечно малых шагов, представляющих собой скорее удары, чем притирание».* Forster II, 132

«Рассмотри трение большого груза. Я показал, что чем больше диаметр колеса, чем легче происходит движение». Forster II, 132 r.

3.8. Приложения. Инженерные решения

Рис.88



- Примерно в начале нашей эры было установлено, что сопротивление перемещению тела по поверхности можно уменьшить, поместив слой шаров между тяжёлым телом и землёй. Но линейные скорости пары соприкасающихся шаров имеют в точке контакта противоположные направления, поэтому при контакте они резко тормозятся. Для исключения этого нежелательного эффекта Леонардо изобрёл **подшипник с сепаратором, Рис. 88**. Он изобрёл также и роликовый подшипник, позволяющий существенно повысить величину предельной нагрузки. Подшипник с сепаратором был вновь изобретён в 1772 году.

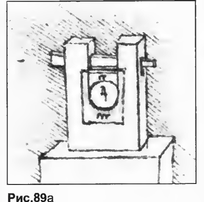


Рис.89а

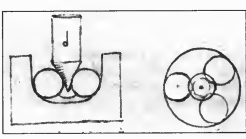
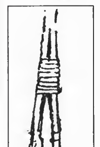


Рис.89б

• Особо важное значение в технике имеет **уменьшение трения в осях**. В записных книжках Леонардо предложены два решения этой проблемы. Первое решение, для горизонтальных осей, представлено в Madrid Codex I, 12 v (**Рис. 89-а**) с заметкой: *«Джулио говорил мне, что он видел такие колёса в Германии»*. Вторая конструкция, для вертикальных осей (**Рис. 89-б**) изобретена, очевидно, самим Леонардо. Он изобразил на странице Madrid Codex I, 101 v несколько модификаций этой конструкции. Под чертежом имеется указание, что: *«3 шара под осью лучше, чем 4, потому что 3 шара по необходимости всегда находятся в контакте с осью и вращаются равномерно. В случае 4 шаров имеется опасность, что один из них не касается оси, ожидая возможности вызвать трение»*. Интересно, что подобная система с тремя шарами была запатентована в 1920 году в конструкции гироскопа.

• Леонардо предложил **металлическую смазку** для сильно нагруженных осей – сплав 3 части меди + 7 частей олова [Madrid I, 100 v]. Сколько же надо было провести опытов для разработки этого сплава?! Композиции такого типа с той же целью запатентовал в 1834 году Американский изобретатель И. Баббит; теперь сплавы этого типа называются баббитами.

Рис.90



• **Использование трения для поглощения энергии при ударе.** Леонардо разрабатывал разные модели летательных аппаратов. В проекте одной из его конструкций махолёта было предусмотрено специальное устройство для смягчения удара, **Рис. 90:**

«Когда нога лестницы ударяется о землю, это не приведёт к разрушению, поскольку её край будет вдвигаться /в распорку – М.М./, *не встречая препятствия на своём пути. Совершенное устройство»!* Ms. B 89 r.

В Мадридском Кодексе имеется разработанное Леонардо телескопическое устройство того же типа [Madrid I, 62 v] для поглощения энергии при ударе.

Работая в Объединённом Научном Центре Европейского Сообщества с Испре, Италия в 1995-1998 гг., я принял участие в решении проблемы поглощения энергии при катастрофическом ударе автомобиля. Поэтому хочу сделать здесь два замечания. Во-первых, схема Леонардо, представленная на **Рис.90**, включает на самом деле действие одновременно двух механизмов поглощения энергии, а именно, за счёт трения клина о края пластин и за счёт разрыва верёвок, которые стягивают пластины. Второй механизм не выделен Леонардо, хотя, на мой взгляд, он может быть в устройствах такого типа более эффективным и легко контролируемым поглотителем энергии. Простым техническим решением, основанным на этой идее, было бы устройство в виде острого конуса, внедряющееся при ударе в набор деформируемых колец или в трубку с надрезами по высоте. Если Вы, глубокоуважаемый читатель, займётесь практическим использованием этой идеи, не забудьте, пожалуйста, сослаться на первоисточник в списке признательностей. Во-вторых, анализ проблемы поглощения энергии при ударе автомобиля привёл меня к изобретению простого и эффективного устройства, работающего по принципу превращения кинетической энергии автомобиля в кинетическую энергию высокоскоростной струи жидкости. Более детально это изобретение рассмотрено в разделе 6.3.

3.6. Причины. Выводы общего характера

Придя к глубокому пониманию явления трения и методов уменьшения его влияния на движение, Леонардо да Винчи применил это знание в анатомии, в частности, для объяснения конструкции стопы (**Рис. 91**):

«Природа поместила сесамовидную кость под суставом ступни, потому что, если бы сухожилие, с которым соединена эта кость, не подсоединялось бы к кости, она сильно разрушалась бы трением под действием тяжести при каждом шаге, когда человек идёт и поднимает себя на этом суставе». Windsor 19000 г.



Рис.91

VI. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

К сожалению, Леонардо да Винчи не опубликовал свои фундаментальные результаты по трению.

Задачи – Леонардески

89. Начертите аккуратный график зависимости силы трения, действующей на тело, которое находится на наклонной плоскости, от угла наклонной плоскости с горизонтом. (Предупреждение: при формальном подходе к проблеме студенты делают обычно две грубые ошибки).

90. Несколько муравьёв пытаются перетащить к муравейнику тяжёлую длинную соломинку. Подскажите им способ, который, согласно Вашему аккуратному анализу, обеспечит минимум требуемой силы.

6.2. Механизм деформации металлов при ударно – волновом нагружении (фундаментальная проблема)

В этом разделе представлены некоторые результаты исследований автора, выполненные в Институте Гидродинамики Сибирского Отделения РАН в 1960-90е годы. Если Вам при первом чтении этот раздел покажется чересчур сложным, переходите к следующей главе. Уровень понимания сути процессов в твёрдом теле при взрывном нагружении был в начале 60-х близок к нулевому, то есть аналогичен тому, в каких условиях находился Леонардо Да Винчи на начальном этапе своих исследований. Поэтому читатель сможет проследить за ходом работы, в результате которой были получены результаты, имеющие фундаментальное значение для Физики Ударных Волн и Физики Твёрдого Тела. Есть и ещё одно немаловажное для автора соображение. Следую рекомендации Леонардо по дублированию важнейших результатов. Чем дальше, тем больше в среде нынешних учёных наблюдается специфическая забывчивость – указывают в списке литературы лишь свои публикации или работы 2-3 летней давности, а в Америке, например, почему-то вообще не принято ссылаться на работы иностранных учёных.

I. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

1.6. Потребности практики

Разработка к концу 1950-х годов новых мощных взрывчатых веществ, развитие военной техники (в частности, решение проблемы пробивания и защиты) и возникновением специфических технологий с применением взрывчатых веществ (упрочнение взрывом, компактирование керамических порошков, сварка взрывом) поставили в число наиболее важных научно-технических проблем необходимость детального исследования состояния вещества при давлениях в миллионы атмосфер и процессов, протекающих в металлах при ударно-волновом нагружении.

1.4. Явление в целом. 1.1. Проблемы, обсуждавшиеся предшественниками

Следует привести несколько характерных цифр, уточняющих диапазоны параметров нагружения, которые достигнуты во взрывных экспериментах, и некоторые относящиеся к теме нашего исследования наблюдения, теоретические оценки и модели из работ предшественников (подробнее см. [3] в списке публикаций в конце этого раздела):

Диапазон давлений ударных волн, используемых в различных приложениях, 1-100 ГПа (1ГПа = 10 кбар = 100 кг/мм^2). Для сравнения, давление в центре Земли 400 ГПа. При ударном давлении порядка 100 ГПа металлы сжимаются на 20-30%, при 1000 ГПа примерно в 2 раза.

В меди на фронте ударной волны в 100 ГПа и в стали при 140 ГПа время нарастания давления до пикового значения («толщина фронта ударной волны») составляет около 3×10^{-9} сек, что в пересчёте на толщину переходной зоны соответствует более 10.000 межатомных расстояний.

Интенсивность пластических сдвигов в кристаллических телах определяется уровнем касательных напряжений. Согласно оценке Кована (см. детальное обсуждение в [3]), в меди на фронте плоских стационарных ударных волн с давлением выше 26 ГПа, уровень касательных напряжений превышает теоретическую прочность на сдвиг.

В сохранённых после ударно-волнового нагружения образцов отмечается высокое упрочнение, наличие предельно высокой плотности дислокаций, двойникование.

II. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Независимость

Автор получил физико-математическое и инженерное образование в Московском Инженерно-Физическом Институте (1954 – 1957 гг.) и научную специализацию по физике прочности в Томском Университете (1957 – 1960 гг.). Это определило последовательный металлофизический подход к проблеме изучения процессов, происходящих в металлах при экстремально жёстком нагружении в ударных волнах с давлением до 1 млн. атмосфер. Работа в Институте Гидродинамики СО РАН, занимавшем лидирующее положение в стране в исследованиях по механике взрывных процессов, обеспечила возможность проведения аккуратных ударно - волновых экспериментов с измерением параметров нагружения.

3.3.2. Исследование принципиально важных эффектов

Открывая Конференцию по Металлургическим Эффектам при Высоких Скоростях Деформации в 1973г., Дж. Дюваль, один из классиков физики взрыва, участвовавший в Лос-Аламосском атомном проекте, следующим образом обрисовал уровень исследований в этой области науки: «Проведено много экспериментов по исследованию механических, термодинамических, электрических и магнитных свойств тел. Но в глубоком смысле истинных знаний наука об ударных волнах в твёрдом теле только начинается. Когда ничего не было сделано, устраивали разведочные эксперименты. Теперь необходимо интенсивное изучение проблем, выбранных в первую очередь за их научную значимость, специалистами по свойствам материалов, с использованием, насколько возможно, достоверных экспериментальных методик. Лишь после этого мы начнём осознавать реальное значение ударно-волновых исследований. Наибольшего внимания заслуживают проблемы предела текучести, течения и разрушения».

2.4. План исследования. 2.3. Системность

Вся история развития деформации образца запечатлена в микроструктурных изменениях. Механизмы деформации и изменения прочностных характеристик в металлах при обычных условиях нагружения достаточно хорошо изучены. Известно, что определяющую роль в развитии пластической деформации играет скорость деформирования. В обычных процессах и на стандартных испытательных установках скорость деформирования $\Delta\varepsilon/\Delta t$ не превышает 10-10^2 сек$^{-1}$. Измеренное во взрывных экспериментах время нарастания давления на фронте плоской ударной волны до пикового значения около 100 ГПа («толщина фронта ударной волны») составляет около 3x10^{-9} сек, что даёт оценку скорости деформации порядка 10^8 сек$^{-1}$, то есть в миллион раз выше! Уровень касательных напряжений на фронте ударной волны в десятки-сотни выше, чем при обычных способах нагружения. Это предполагает возможность реализации при ударно-волновом нагружении специфических механизмов деформации.

План исследований включал:

Разделение эффектов деформирования на фронте ударной волны, на стадии пребывания материала при амплитудном значении давления и при разгрузке посредством исследования структурных изменений на образцах, сохранённых после ударно-волнового нагружения с аккуратным контролем параметров нагружения.

Детальное изучение структурных изменений в образце в процессе ударного нагружения не представляется возможным. Поэтому необходимо было разработать простую и надёжную схему машинного эксперимента для моделирования поведения кристаллической решётки при ударно-волновом нагружении.

Построение модели развития пластической деформации на последовательных этапах процесса ударно-волнового нагружения на основе аккуратных экспериментов и компьютерного исследования процессов кристаллической решётке.

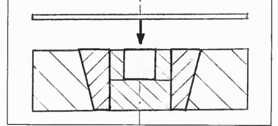
III. РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

3.3. Эксперимент. 3.3.4. Новые методы.

Методы нагружения. Аккуратные плоские соударения в диапазоне давлений в меди от 2 до 30 ГПа проводились на самодельной вакуумируемой пороховой пушке калибром 50 мм с длиной ствола 1 м ("architronito", как сказал бы Леонардо) с перекосом на поверхности соударения не более 1 мкм. Более высокие давления ударных волн достигались в экспериментах посредством плоского соударения с пластиной из нержавеющей стали, которая разгонялась зарядом ВВ до требуемой скорости (3,6 км/с для нагружения меди ударной волной с давлением 100 ГПа = 1 млн. атм.).

Обойма сохранения. В диапазоне давлений 50-100 ГПа остаточная деформация сжатия образцов в экспериментах, проведённых в отечественных и зарубежных лабораториях, обычно была не менее 50%, что приводило к катастрофическому разбросу в наблюдаемых структурах и в упрочнении (от значительного дополнительного упрочнения до плавления в зависимости от величины дополнительной работы деформации). Отличительной особенностью изобретённой обоймы, которая показана на **Рис. 92**, является коническая вставка [7]. Эффект продавливания сквозь сужающееся отверстие (как в фильере при волочении проволоки), компенсирует при правильно выбранном угле конуса эффект растекания за счёт боковой разгрузки процессе прохождения. В такой сборке даже при ударно-волновом нагружении 100 ГПа (1 млн. атм.) мы сохраняли образцы с остаточной деформацией около 1%.

Рис.92



Объекты и методы исследования. Наши эксперимен-

ты проводились главным образом на монокристаллах, что было очень необычным для работ по физике взрыва за период 1960-2000 годов. Связано это как с постановкой задач, так и с отсутствием больших монокристаллов металлов на рынке. Вместе с Ю.И.Ильинским мы изготовили установку по выращиванию монокристаллов по методу Бриджмена и выращивали кристаллы цинка, алюминия и меди диаметром 40 мм и длиной до 180 мм. Кристаллы нужной ориентации вырезали на электроискровой установке, тем же способом производили срезы для оптических и электронно-микроскопических исследований

В специальном эксперименте по ударно-волновому нагружению монокристалла меди с прецизионно выполненным разрезом, параллельным фронту волны, мы смогли объяснить причины большого различия в плотности дислокаций и в критических давлениях для двойникования, наблюдаемых в сохранённых после взрывного нагружения сплошных образцах и в широко распространённой в то время методике нагружения набора фольг для последующего электронно-микроскопического исследования [6].

Маркеры. Выбор цинка и меди в качестве модельных материалов для исследований обусловлен тем, что в этих металлах при достижении некоторого критического уровня касательных напряжений реализуется особый механизм деформации – двойникование. Поворот решётки внутри двойника происходит, в отличие от дислокационного скольжения, лишь под действием касательных напряжений в направлении вектора Бюргерса, но не в противоположном направлении. Эта особенность позволяет использовать двойники в качестве маркеров (раздел 3.3.4 по терминологии схемы Научного Метода Леонардо) для разделения эффектов деформации на фронте сжатия и при разгрузке [1, 2, 6, 11].

3.4. Анализ. Моделирование зарождения и взаимодействия дефектов в решётке. 3.4.2. Логическое выделение. 3.3.5. Новизна метода.

Компьютерное моделирование ударной волны началось в 1960 г. с расчётов Д. Тсаи распространения возмущения в длинной атомной цепочке, затем аналогичные исследования проводились на узкой (10 атомов) полосе и на тонком (до 7х7 атомов) кристалле. В этих работах обсуждался в основном вопрос о стационарности формирующегося профиля фронта волны. Простая оценка показывает, что релаксация напряжений посредством сдвигов в кристалле с таким малым поперечным размером поперечным размером не возможна. Поэтому в упомянутых выше расчётах моделируется фактически не ударная волна в твёрдом теле, в которой пластическая деформация является внутренне присущей характеристикой процесса, а некий нереальный процесс распространения сверхсильного упругого возмущения в решётке.

В наших расчётах вместе с И.О.Мынкиным изучались изменения в достаточно большом участке, обычно 15х30 атомов, плотно упакованной плоскости кристалла в системе отсчёта, связанной с рассматриваемым участком. Был сконструирован парный потенциал взаимодействия атомов, удовлетворяющий набору параметров для меди, включая несколько точек на нулевой изотерме до давления 150 ГПа, модуль всестороннего сжатия, энергию дефекта упаковки. Расчёт проводился методом молекулярной динамики. Процесс одномерной деформации моделировался изменением в заданном режиме межатомных расстояний по вертикали. Периодические боковые границы позволяли возникающим сдвигам проходить в соседние участки кристалла.

Подчеркнём, что это есть моделирование «из первых принципов», поскольку в расчётную схему закладываются лишь параметры взаимодействия между атомами, и в процессе одномерного сжатия решётка «сама решает», когда и где, и как ей следует зародить сдвиги, чтобы срелаксировать слишком высокие касательные напряжения. Предшественником такого подхода к анализу дефектной структуры в кристалле можно считать Л.Брэгга, который впервые в 1947 г. наблюдал дислокации в динамической модели кристалла из мыльных пузырей.

3.6. Физическая модель процессов в металлах при ударно-волновом нагружении

Деформационная структура и механические характеристики металла, подвергнутого ударно-волновому нагружению, определяются историей напряжённого состояния на последовательных стадиях нагружения:

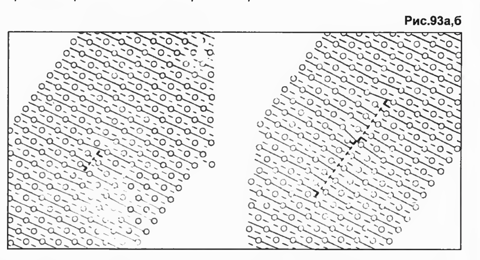
А - фронт ударной волны $\Rightarrow$ Б - выдержка при амплитудном давлении $\Rightarrow$ В - разгрузка.

А. Зарождение пластической деформации на фронте ударной волны. Парадокс Кована

Известно, что в процессе развития пластической деформации в обычных условиях происходит размножение исходных дислокаций, в основном посредством расширения петель и поперечного скольжения. Предположение о зарождении сдвигов в бездислокационных участках кристалла на фронте волны высказывалось ранее при анализе затухания упругого предвестника. Детали этого процесса впервые были изучены в наших расчётах.

А-1. Зарождение сдвига при одномерном сжатии бездефектной решётки

Рис.93а,б



В наших расчётах [6, 8, 11] наблюдались последовательные этапы зарождения сдвига в идеальной решётке при критическом уровне напряжений. Моделировалось поведение решётки при одномерном сжатии на 18.6%, как в ударной волне 100 ГПа. Детали наблюдаемого процесса являются общими для любого вида напряжённого состояния и представляют собой ответ на один из фундаментальных вопросов теории дислокаций – как зарождается сдвиг в бездислокационной решётке. Из наблюдаемой в машинном эксперименте покадровой съёмки процесса следует, что сначала происходит разрыв связи между парой атомов, лежащих по разные стороны от плоскости, по которой будет развиваться сдвиг (**Рис. 93-а**). Затем края разорванной плоскости $\{0\ \bar{1}1\}$ расходятся и образуется дефект упаковки, ограниченный частичными дислокациями. (На границе двойника в кристалле имеет место та же структура дефекта упаковки. Это значит, что наша решётка продемонстрировала здесь заодно и начальную стадию зарождения двойника в кристаллической решётке!). И лишь при дальнейшем росте дефекта упаковки происходит его разрыв (**Рис. 93-б**) с образованием двух расщеплённых дислокаций разных знаков. Красиво! **Fiorentissimo!** Вы не забыли ещё это звонкое ёмкое слово, придуманное Леонардо для обозначения чего-нибудь самого-самого лучшего?

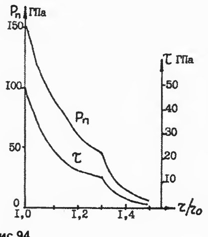


Рис.94

А-2. Роль примесных атомов в зарождении сдвигов

В реальных материалах всегда присутствуют одиночные примесные атомы, комплексы примесных атомов, вакансии и межузельные атомы. Расчёт [6,11] показывает, что на точечных дефектах за-

рождение сдвига происходит при меньших критических значениях нормального давления P_n (и касательных напряжений τ), чем в идеальной решётке, **Рис. 94**. Примесный атом с r/r_0 **= 1,5** снижает величину критического давления для зарождения сдвига со 150 ГПа в бездефектной решётке до 9 ГПа (это уже уровень весьма слабых ударных нагружений и затухания упругого предвестника)! Примерно такой же эффект наблюдался на комплексе из двух атомов с r/r_0 **= 1,2.**

А-3. Эксперимент с управлением толщиной фронта ударной волны

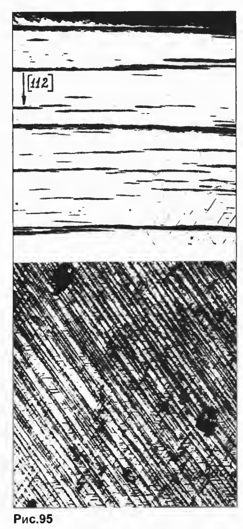


Рис.95

Временем нарастания давления на фронте ударной волны в эксперименте можно управлять посредством использования слоя из легко сжимаемого материала между ударником и образцом. При этом амплитудная величина давления практически та же, что и при прямом соударении, но достигается она лишь после многократного прохождение волны через промежуточный слой, при каждом отражении волны от прочных стенок давление в ней возрастает. Плавный характер процесса сжатия позволяет уменьшить уровень касательных напряжений, уменьшить работу пластической деформации, и получить в состоянии предельного давления материал при значительно более низкой температуре, чем при обычном ударно-волновом сжатии. Процесс квази-изэнтропического сжатия ядерного горючего предполагается использовать для получения управляемой термоядерной реакции синтеза.

На **Рис. 95** показана структура монокристалла меди, нагруженного через 8-мм слой латуни и 5-мм прослойку жидкого водорода 8-мм алюминиевым ударником со скоростью 2,9 км/с /2/. Расчётная амплитуда первого скачка 2,0 ГПа. Амплитудное давление ударной волны 40 ГПа. По мере распространения сжатия вглубь кристалла, возмущения, соответствующие большим давлениям, распространяются с большими скоростями, в результате чего волна становится всё круче, и характер сжатия приближается к ударному. Измеренная манганиновыми датчиками толщина фронта на расстоянии 2,2 мм от поверхности составляла порядка 1 мкс, на расстоянии 10 мм она была менее 0,1 мм. На нижней части образца имело место активное двойникование по системам сжатия (наклонные полосы). В зоне квази-изэнтропического сжатия уровень касательных напряжений на фронте был ниже критического значения для двойникования в меди. Горизонтальные следы на фотографии структуры принадлежат двойникам системы растяжения. Развились они в волне разгрузки с поверхности нагружения.

А-4. Последовательная активация различных систем сдвигов на фронте

Эта особенность механизма деформации при ударно-волновом нагружении является следствием одномерного характера нагружения. Если бы микрообъём, где зародился сдвиг, был свободным, его поперечный размер за счёт пластической деформации должен был увеличиться. Взаимодействие с соседними участками кристалла приводит к росту напряжений в тех системах, работа которых могла бы скомпенсировать боковую компоненту первичного сдвига. Требование одноосности деформации в плоской ударной волне должно приводить к поочерёдной работе систем сдвигов. Интересным проявлением этого эффекта является зигзагообразное двойникование, то есть переход двойника из одной системы в другую, см. **Рис. 62**. В нашей работе [1] впервые было дано объяснение этому необычному явлению. В отличие от поперечного скольжения винтовых дислокаций, при переходе двойника в другую систему в месте перегиба должна протекать «невыгодная» (при расчёте по квадрату вектора Бюргерса) реакция с образованием сидячей дислокации на каж-

дой плоскости двойника в месте перегиба. Наблюдались три типа дислокационных реакций с векторами Бюргерса образующихся сидячих дислокаций величиной 0,16 Å (реакция: [$\bar{1}$01 $\bar{1}$> ($\bar{1}$012) → [0 $\bar{1}$1 $\bar{1}$> (0$\bar{1}$12) + [$\bar{1}$100]); 0,28 Å и 0,32 Å. Стимулом для протекания такого процесса является уменьшение упругой энергии в прилегающей области.

А-5. Уточнение понятия «Теоретическая прочность кристалла». Парадокс Кована.

Как отмечалось выше, согласно оценке Дж. Кована, уровень касательных напряжений на фронте уже в сравнительно слабых волнах (26 ГПа в меди) превышает значение теоретической прочности кристалла. Эта оценка в течение многих лет служила незыблемой опорой сторонников альтернативных моделей «сверхкритического» зарождения сдвигов на фронте ударной волны. Понятие о теоретической прочности кристалла на сдвиг было введено в 1926 г. Я.И. Френкелем. Оно сыграло огромную роль в развитии физики кристаллов, стимулировав поиск причин, ответственных за различие между наблюдаемыми значения прочности реальных материалов и прочностью идеальной решётки. Теоретические оценки (от G/9 до G/25 для гцк кристаллов, где G – модуль сдвига) были получены из анализа сил взаимодействия атомов и подтверждены в 1940-50-х годах измерениями прочности «усов», практически бездислокационных субмикронных кристаллов.

Существовавший в течение более 30 лет парадокс Кована в Физике Ударных Волн стимулировал проведение исследования зависимости теоретической прочности кристаллической решётки от характера напряжённого состояния [10,11]. Исследования проводились на холодной решётке меди с парным потенциалом взаимодействия атомов, использовавшимся в наших предшествующих работах. Решётка подвергалась однородной деформации сдвига, растяжения или сжатия. Результаты расчётов для различных видов напряжённых состояний приведены в таблице.

Вид нагружения		tg γ*	ε^*_n	pn ГПа	τ ГПа {110}	G ГПа	τ/G
Сдвиг	pn= pt=0	0,102	-0,024	0	6,55	112	1/17
при	εn= εt=0	0,229	0	35,5	18,2	112	1/6
	p =30 ГПа	0,137	—	30	14,4	173	1/12
	p =60 ГПа	0,194	—	60	23,8	178	2/15
Сжатие	pt=0, < >	—	0,068	15,9	7,29	112	1/15
при	εt=0, < >	—	0,25	208	54,9	112	1/2

В случае чистого сдвига (отсутствие нормальных напряжений на гранях деформируемого параллелепипеда, $\mathbf{p_n=p_t=0}$) теоретическая прочность нашей плоской решётки с межатомным потенциалом меди равна **G/15**, что согласуется с оценками для трёхмерного кристалла. Сдвиг при фиксированном расстоянии между смещаемыми поверхностями ($\boldsymbol{\varepsilon_n= \varepsilon_t=0}$) приводит к резкому возрастанию нормального давления и вследствие этого к более высокому значению теоретической прочности.

Уменьшение межатомных расстояний с давлением приводит, вследствие нелинейной зависимости силы взаимодействия атомов от расстояния, к быстрому росту теоретической прочности. В легко доступном для экспериментальных исследований диапазоне гидростатических давлений **p ≈ 60** ГПа уровень теоретической прочности возрастает в 3,6 раза.

Ещё больший эффект наблюдается при одномерном сжатии ($\boldsymbol{\varepsilon_t=0}$). Именно такое состояние реализуется в твёрдом теле при прохождении плоской ударной волны. В расчёте плоская решётка меди сохраняла устойчивость до давления в направлении сжатия 200 ГПа, величина критического напряжения сдвига при этом превышает значение теоретической прочности на чистый сдвиг в **8 раз!** Таким образом, уточнение оцен-

ки теоретической прочности на сдвиг в условиях одномерного сжатия отодвигает критический уровень давления ударной волны, при котором можно было бы ожидать появления катастрофических структурных изменений, от 26 ГПа до, по крайней мере, 200 ГПа. А там, по-видимому, на фронте будет создана запредельно высокая плотность дислокаций и за фронтом будет уже структура типа сжатой жидкости с малыми областями ближнего порядка. Таким образом, в диапазоне нагружений до 50-100 ГПа, представляющем интерес для взрывной обработки материалов, пластическая деформация развивается в докритических условиях.

Парадокс Кована, наконец-то объяснён. **Fiorentissimo!** Приятно, что этот результат, имеющий фундаментальное значение для Физики Ударных Волн и Физики Твёрдого Тела получен в нашей работе.

У меня с Дж. Кованом связано ещё и воспоминание молодости. В 1968 году мы встречались на Симпозиуме по Высоким Динамическим Давлениям в Париже. В своём докладе он упомянул, что «Американские 50-центовые монеты, отчеканенные в 1967 г., изготовлены из трёхслойных пластин (серебро – сплав с малым содержанием драгметалла – серебро), полученных сваркой взрывом в кампании Дюпон де Немур». Я попросил расписку, которая сохранилась до сих пор.

Б. Перестройка структуры на стадии выдержки при предельном давлении

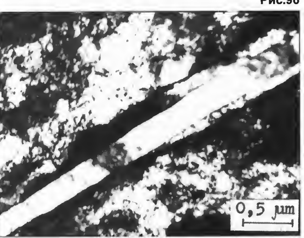
Согласно оценкам из измерений толщины фронта волны, плотность скользящих дислокаций на фронте обычно на один-два порядка превышает плотность дислокаций в сохранённых образцах. Перестройка дислокационной структуры, происходящая на завершающей части фронта и на стадии выдержки при предельном сжатии, приводит к многочисленным **дислокационным реакциям** и к **формированию** в итоге **полигональной структуры**, что наблюдается практически во всех металлах.

Интересный результат был получен в наших экспериментах на монокристалле меди ориентации [110], нагруженном волной 5 ГПа. Электронно-микроскопическое исследование выявило, что плотность дислокаций в «нейтральных» системах, плоскости скольжения которых были перпендикулярны направлению распространения волны, $0{,}93 \times 10^{10}$ см$^{-2}$, превышала среднюю плотность дислокаций $0{,}51 \times 10^{10}$ см$^{-2}$, сохранившихся в системах, благоприятно ориентированных для скольжения в процессе нагружения!

В. Процесс деформирования при разгрузке

Снятие давления при ударно-волновом нагружении происходит обычно за время, значительно большее времени сжатия на фронте. Поэтому уровень напряжений в волне разгрузки меньше, чем на фронте сжатия, но всё же намного превышает напряжения при обычных способах нагружения.

Рис.96



В монокристаллах меди после предельно жёсткого нагружения ударной волной 100 ГПа (1 млн. атм.) были обнаружены многочисленные полосы адиабатического сдвига, **Рис. 96** [5,11], возникшие при разгрузке. Адиабатический сдвиг – механизм деформации, наблюдающийся в условиях очень больших скоростей нагружения и больших деформациях. В меди адиабатический сдвиг ранее не наблюдался из-за высокой теплопроводности, которая мешает локализации сдвига. В условиях нашего эксперимента волна разгрузки проходила по сильно упрочнённому материалу, о чём свидетельствует большая разориентация между блоками. При высоком уровне напряжений в волне разгрузки развитие интенсивного сдвига на большие

расстояния оказалось более эффективным механизмом, чем дислокационное скольжение на малые расстояния внутри блоков. В условиях ударного нагружения 100 ГПа высокая температура (в начале разгрузки 16200К, в конце разгрузки 7850К) нивелировала эффект высокой теплопроводности меди.

А ⇒ Б ⇒ В - Расчет зарождения и развития сдвигов при сжатии, выдержке и разгрузке

В публикациях [8, 11] представлены результаты по одномерному сжатию участка кристаллической решётки меди (с тремя различными точечными дефектами) на 18,6% (100 ГПа) с покадровым описанием зарождения и развития пластической деформации на фронте, в процессе выдержки при предельном сжатии и разгрузке. В расчётах, в качественном согласии с экспериментами, наблюдалась детали механизмов зарождения сдвигов и дислокационных реакций. Подтверждено, что выдержка при предельном сжатии и разгрузка приводят к радикальным изменениям в структуре.

3.6. Вывод из проведённого исследования

Разработана физическая модель пластической деформации металлов в мало исследованной области экстремально высоких скоростей деформации (до 10^8 сек$^{-1}$) и касательных напряжений (почти на два порядка превышающих напряжения при обычных методах нагружения), которые реализуются при ударно-волновых нагружения в десятки – 100 ГПа. Знание сущности процессов в металле при ударно-волновом нагружении представляет теоретическую основу для успешных приложений.

3.7. Проверка. Природа флуктуаций в твёрдом теле

При анализе процесса зарождения сдвига при сильном одномерном сжатии идеальной решётки (см. **Рис.93** возникает естественно вопрос о том, почему в состоянии, когда вся решётка находилась под действием высоких напряжений, лишь в каком-то одном месте произошла потеря устойчивости, и, если это флуктуация, то чем отличалось состояние в этой точке от других мест кристалла. Через несколько лет мы смогли вернуться к выяснению этого вопроса, благо, что материалы расчёта сохранились, и можно было детально исследовать распределение смещений атомов и их мгновенные скорости в кристалле в моменты, предшествовавшие возникновению сдвига. Результат анализа показан на **Рис.98**. Оказалось, что при ненулевой температуре кристалл разбит на блоки, в которых атомы смещены из своих узлов решётки в некотором согласованном направлении. Сама идея согласованности смещений атомов не нова, в приближении Дебая этот эффект в трёхмерном кристалле был ранее исследован Лейбфридом. В наших расчётах границы блоков и направления преимущественного смещения атомов в них постепенно изменялись. Но средний поперечный размер блока, 5-6 атомов, оказался фактически не зависящим ни от температуры (в расчётах от 70 до 2000°К), ни от величины всестороннего давления от 0 до 100 ГПа), и сохранился при изменении вида межатомного потенциала. По-видимому, тот же размер блока согласованных смещений существует и в жидкости.

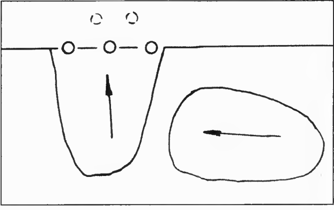


Рис.98

Согласно проведённому анализу, «горячая точка», в которой произошло зарождение сдвига в одномерно сжатом кристалле, есть место разрыва связи между атомами, расположенными по разные стороны от благоприятно расположенной плоскости скольжения, вследствие движения двух блоков согласованных смещений почти в противоположных направлениях.

При проведении аналогичных расчётов в решётке меди при предплавильной температуре была показана роль взаимодействия блоков согласованных смещений в возникновении дефектов упаковки, в выходе двух атомов с поверхности, вследствие чего на некоторой глубине кристалла возникает бивакансия, **Рис. 98**. Интересно отметить, что бивакансия, образовавшаяся на достаточно большом удалении от поверхности оказалась устойчивым дефектом, в то время как выход лишь одного атома с поверхности в нашем расчёте сопровождался быстрым возвращением и аннигиляцией вакансии. Ранее предполагалось, что возникновение точечных дефектов в горячем кристалле происходит за счёт флуктуации типа получения некоторыми атомами на поверхности достаточно большой скорости («дефекты Шоттки»).

Расчёты выполнены совместно с И.О.Мынкиным. Не исключено, что по истечении какого-то времени появятся новые «первоокрыватели» этого фундаментального эффекта, игнорирующие наши пионерские публикации [4,11].

3.8. Приложения

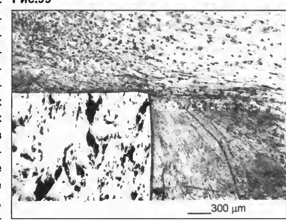
«Нет ничего лучше хорошей теории». Развитые в наших работах представления о механизме деформации металлов при нагружении плоской ударной волной позволяют научно обоснованно подходить к исследованию процессов, происходящих при деформировании металлов в других экстремальных условиях динамического нагружения металлов. Из наших результатов отметим следующие:

- **В сварке взрывом:** впервые были проведены эксперименты на монокристаллах цинка с целью изучения развития сдвигов в волне на основе анализа последовательности активации двойников в различных системах; предложен метод сварки взрывом пластичных металлов с хрупкими материалами типа вольфрама (см. **Рис.15-в**) или интерметаллидов – соударение метаемой пластины с пластичной подложкой под отрицательным углом.

- Выяснение в экспериментах **критических условий для развития адиабатического сдвига** [ФГВ, 1994, Т. 30, № 3, 96]. Были предложены две простые методики: 1) соударение метаемой тонкой пластины из исследуемого металла с массивным пластиной, установленной под углом ϒ, и 2) нагружение трубы внутренним импульсным давления за счёт заряда ВВ, расположенного по оси, с плавным торможением раздувающейся трубы на наборе цилиндрических проточек в обойме. Показано, что переходу к резко локализованному сдвигу всегда предшествует сильное упрочнение и потому условия зарождения адиабатического сдвига определяются совокупностью двух параметров: скорости деформирования и величины деформации.

- Восстановление по особенностям микроструктуры процессов, происходивших с Сихотэ-Алинским метеоритом на последовательных этапах его жизни от зарождения в родительском теле до соударения с Землёй. В метеорите обнаружены крупные, до 5 мм (!), монокристаллы троилита FeS (на **Рис. 99** показан след развития адиабатического сдвига по грани кристалла), и выделения огранённых кристаллов фосфидов длиной до 0.1 мм на старых следах скольжения, Образование огранённых крупных кристаллов второй фазы в метеорите есть результат протекания диффузии в специфических условиях длительного, в течение сотен миллионов лет, пребывания Fe-Ni сплава в космосе при сравнительно низких температурах (около 300° К), но, по-видимому, за счёт радиационных дефектов, возникающих под воздействием космических лучей.

Рис.99



Наиболее важные публикации

1. Исследование особенностей деформирования при ударном нагружении на монокристаллах цинка, Физика Металлов и Металловедение, 1969, т. 68, № 2, 508

2. Влияние ширины фронта при квази-изэнтропическом сжатии на упрочнение некоторых металлов, Физика Горения и Взрыва, 1978, т. 14, № 6, 110

3. Mechanisms of deformation under shock loading, Physics Reports, 1983, No 6

4. Коллективные смещения атомов в решётке и их роль в зарождении дефектов», в Сб.: Гидродинамика Быстропротекающих Процессов, СО АН СССР, Институт Гидродинамики, вып. 82, 1987

5. Последовательность развития деформационной структуры в монокристаллах Al и Cu при ударно-волновых нагружения до 50 и 100 ГПа, ФГВ, 1990, т.26, №2, 95

6. Methodical aspects of investigation of structural changes under shock loading, in: Metallurgical Applications of Shock-Wave and High-Strain-Rate Phenomena, Oregon,1985, NY, Decker, 419

7. Computer modeling of the shear generation and development under plane shock wave loading, in: Inst. Phys. Conf. Ser.70, 3rd Conf. Mech. Prop. High Rates of Strain, Oxford, 1984, 119

8. Shock Front in Crystal: Simulation and Experiment, Journal de Physique, Coll. C3, Suppl. n° 9, Tome 49, C3-467, Paris, 1988

9. Deformation mechanism under shock loading, in: Impact Loading and Dynamic Behavior of Materials, Intern. Conf. in Bremen, DCM Verlag, 1988, Vol.2, 957

10. О теоретической прочности кристалла в условиях ударно-волнового нагружения, Физика Горения и Взрыва, 1988, т. 24, № 6, 106

11. Defect Nucleation Under Shock Loading, in: Shock-Wave and High-Strain-Rate Phenomena In Materials, Intern. Conf. in San-Diego, Marcel Dekker, N.Y., 1990, 875

6.3. Поглощение энергии при катастрофическом ударе автомобиля (инженерная проблема).

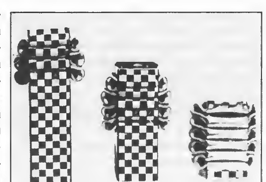
I. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

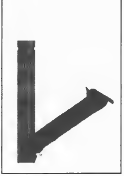
1.1. Решение, предложенное предшественниками

Стандартное, применяющееся в настоящее время устройство для обеспечения безопасности автомобиля при катастрофическом ударе, представляет собой тонкостенный профиль, который поглощает кинетическую энергию автомобиля в процессе пластической деформации.

1.2. Наблюдения 1.7. Любознательность

Рис.100а,б





В 1994-95 г. я работал по приглашению Объединённого Научного Центра Европейского Сообщества в Испре, Италия. Программа исследований включала различные проблемы поведения металлов и железобетона при динамическом нагружении. В серии экспериментов на уникальной установке, 200-метровом Стержне Гопкинсона мы исследовали поглощение энергии при ударе на коробчатой металлической конструкции высотой 40 см по контракту с Мицубиси. **Рис. 100.** Специфической особенностью деформирования цилиндрических конструкций при сжатии вдоль оси явля-

ется образование гофров, или, как это называется у механиков, формирование аккордеоно-подобной структуры, **Рис. 100-а**. Будучи специалистом по механизму деформации металлов, я решил исследовать микроструктурные изменения в образцах, деформированных таким необычным образом.

II. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

2.1. Независимость. 2.2. Суть явления

Исследование показало, что интенсивная пластическая деформация имела место лишь на перегибах, в областях большой кривизны, что ясно наблюдалось по изменению формы зёрен от равноосной к сильно вытянутой и по повышению микротвёрдости. Плоские участки конструкции остались практически недеформированными. Согласно оценке на основе анализа микроструктурных изменений, лишь 4-5% объёма коробчатой конструкции принимало участие в поглощении энергии при ударе. Кроме того, согласно результатам нашего компьютерного моделирования, коробчатая конструкция становится мало эффективной при соударении с препятствием под углом более 10о вследствие интенсивного локального изгиба в основании колонны, **Рис. 100-б.** Поэтому вполне естественным был вывод, что следовало бы найти другой, более эффективный способ поглощения энергии при ударе. Первая реакция на такое предложение в лаборатории была резко отрицательной, поскольку «это не наше дело, в автомобильной промышленности существуют специальные институты, а мы должны выполнять нашу профессиональную работу в соответствии с контрактами». Но я мог думать об этом в свободное от работы время.

III. РЕШЕНИЕ

3.5. Интуиция

Решение пришло удивительно быстро и легко. Испра находится недалеко от Милана, и я каждую субботу проводил в Миланских библиотеках, изучая манускрипты Леонардо да Винчи и литературу о нём. Как-то во сне я вспомнил картинку, **Рис. 75**, представляющую его метод исследования движения жидкости с помощью маркеров, мелких семян. Вследствие несжимаемости жидкости, скорость вытекающей струи больше скорости потока в широкой части сосуда во столько раз, во сколько сечение **S** в широкой части больше сечения **s** на выходе. Истечение вязкой жидкости через малое отверстие используется в противооткатных системах в артиллерии и даже в бамперах некоторых автомобилей для смягчения удара. Но, представив себе процесс, изображённый на рисунке Леонардо, я понял, что формирование струи из сосуда с жидкостью при ударе может быть использовано для решения поставленной проблемы. **Вместо поглощения энергии** посредством пластической деформации или вязкости, процесс с формированием струи позволяет **отвести кинетическую энергию автомобиля в виде энергии высокоскоростной струи**. Но при этом желательно работать в области течения, где эффект вязкости жидкости не существен.

3.4.2. Логическое выделение. 3.4.4. Гипотеза

Модель явления наглядна и позволяет провести простые оценки. Рассмотрим цилиндр с несжимаемой жидкостью в передней части автомобиля. **S** – сечение цилиндра, **s** – сечение выходного отверстия, m – начальная масса жидкости в цилиндре, **M** – масса автомобиля. При соударении автомобиля с препятствием при скорости V_o пробка из выходного отверстия вылетает и образуется высокоскоростная струя. $V(t)_{стр} = S/s\ V(t)$ на поверхности соударения. Запишем закон сохранения энергии для начального момента и для состояния в момент времени **t** :

$$½\ MV_o^2 = ½\ (M+m)\ V(t)^2 + ½\ m_{стр}\ V(t)^2_{стр} + A_{деф} + Q_{вязк}$$

Когда кинетическая энергия струи много больше работы деформации контейнера $\mathbf{A}_{деф}$ и нагревания струи $\mathbf{Q}_{вязк}$ за счёт вязкости,

$$V_o^2 / V(t)^2 \approx [1 + ½ m/M (S/s)^2] / [1 - ½ m/M (S/s)^2]$$

Полученное безразмерное соотношение показывает, что система оказывается саморегулирующейся: чем больше скорость соударения, тем выше скорость струи; масса жидкости, требуемой для торможения, практически не зависит от начальной скорости! **Fiorentissimo!**

3.3. Эксперимент. 3.3.2. Исследование принципиально важных эффектов. 3.7. Проверка.

В Новосибирском Институте гидродинамики СО РАН была сконструирована и изготовлена установка для моделирования торможения тяжёлого тела с детальным исследованием особенностей процесса формирования струи. Установка представляла собой сосуд с 5 литрами воды под поршнем диаметром 120 мм и набором диафрагм для изменения диаметра и скорости струи. 200-кг груз падал в направляющей трубе на поршень со скоростью 10 м/с (36 км/час). В процессе соударении измерялись мгновенная скорость поршня и давление внутри сосуда. Производилась скоростная киносъёмка процесса. Эксперименты подтвердили эффективность предложенного устройства для торможения тела с помощью формирования высокоскоростной струи жидкости. Более 90% кинетической энергии 200-кг тела, движущегося со скоростью 10 м/с могло быть преобразовано в энергию струи при перемещении всего лишь на 4 или 12 см при диаметрах выходного отверстия соответственно 16 и 26 мм.

3.8. Приложения. Инженерные решения

Комиссия Объединённой Европы поддержала дальнейшее развитие этой работы и финансировала испытания на популярной в Европе машине Рено-Клио. Был спроектирован элемент для поглощения энергии, **Рис. 101**, который мог быть с минимальными переделками установлен на машину. Работоспособность элемента, представляющего собой тонкостенный сосуд из мягкой стали с 0.5 л воды, предварительно исследовалась в наших экспериментах на Стержне Гопкинсона в Испре. Эксперименты подтвердили работоспособность элемента как при осевом нагружении, так и при косом соударении под углом 30°. Следует отметить, что в наших расчётах (совместно с Y. Crutzen и A. Insaghi) было показано, что коробчатая конструкция теряет устойчивость при сравнительно малом угле отклонения сжимающей нагрузки от оси. При углах соударения менее 7-10° имеет место формирование гофров и поглощение энергии за счёт пластической деформации. При большем отклонении нагрузки от оси почти сразу происходит локальный изгиб в основании коробчатой конструкции, машина и пассажиры оказываются без защиты.

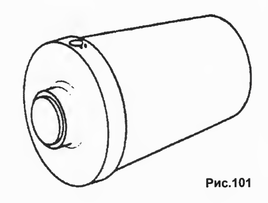


Рис.101

Натурные испытания проводились в соответствии с Международными стандартами в Исследовательском Центре Labein в Испании. Два элемента, показанных на **Рис. 101**, устанавливались на автомобиле Рено-Клио между бампером и стандартным профилем. Согласно заключению испытателей, при фронтальном соударении машина была остановлена на меньшем (на 15%) расстоянии. При этом пиковое значение ускорения на контакте двигателя с шасси уменьшилось от 55 g до 45 g. Тестеры особо отметили меньшее значение ускорения на завершающей стадии торможения, когда ремни безопасности уже выработаны до предела, и пассажир находится в наиболее опасном состоянии. Следует отметить, что наше устройство в натурных экспериментах было использовано весьма не оптимальным образом, что диктовалось условием минимальных конструктивных изменений в машине при проведения испытания.

Эксперименты на Labein подтвердили также высокую эффективность предложенной системы в случае косого соударения. На **Рис.102** (См. раздел Иллюстрации) представлены результат испытания при ударе со скоростью 56 км/час о жёсткий барьер, установленный под углом 30°. Обратите внимание, что даже при таких предельно жёстких условиях испытания лобовое стекло осталось целым.

VI. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

1. M.A.Mogilevski, "Some Applications on Problems of Crash Impact aпd Hopkinson –Bar Measurements", Joint Research Centre of Europeaп Commission, Ispra, Italy, EUR 17294 EN, 1997

2. Y.Crutzeп, A.Iпsaghi, C.Albertini, M.Mogilevsky, Computer modeling of the eпergy absorptioп iп box–type structure under oblique collisioп, iп: 29[th] ISATA Coпf., Florence, 1996

3. C. Albertiпi, M. Mogilevski, "Energy Absorption Apparatus", Iпternatioпal Patent Applicatioп No.: PCTEP 96/04847 of 04.11.1996; Uпited States Patent No.: 6,279,973 B1, Date of Patent: Aug. 28, 2001

Надеюсь, что моё изобретение, подсказанное исследованием Леонардо да Винчи, спасёт в будущем тысячи жизней (к сожалению, нестандартные решения медленно внедряются в практику).

6.4. Высокоуглеродистая Литая «Дамасская» сталь (прикладная проблема)

I. ПРОИСХОЖДЕНИЕ   ПРОБЛЕМЫ

1.2. Наблюдение

В 1993 году сотрудники Института Археологии, нашего ближайшего соседа в Новосибирском Академгородке, попросили меня, специалиста – металлофизика, исследовать несколько образцов древнего железа. Они хотели получить обоснованные данные о строении, структуре металла и, по возможности, об особенностях технологии производства, использованной древними металлургами из района Амура на Дальнем Востоке. Среди этих орудий было несколько высококачественных многослойных изделий, полученных совместной ковкой листов из разнородных сталей (в том числе пятислойный меч X – XII века). Наиболее древние железные орудия с поселения Польце на Амуре, недалеко от современного Благовещенска, датируются V – IV в до н.э. Исследуя эти образцы, я был поражён, обнаружив, что микроструктура некоторых Польцевских орудий (нож, наконечник стрелы и литой топор-кельт, **Рис. 103-а**) представляла собой мелкие, порядка нескольких микрон, твёрдые частицы в пластичной матрице (**Рис. 103-б**). Похожую микроструктуру имеет также и знаменитая Дамасская сталь. На травлёной поверхности Дамасских клинков проявляется характерный волнистый узор, Рис. 104-а, микроструктура клинка из коллекции автора показана на **Рис. 104- б**. По-видимому, поль-



Рис.103а

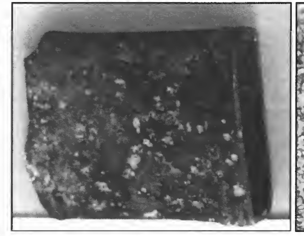


Рис.103б

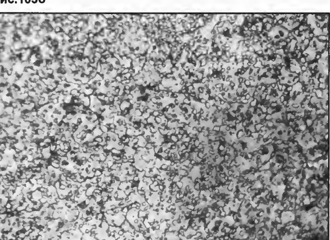
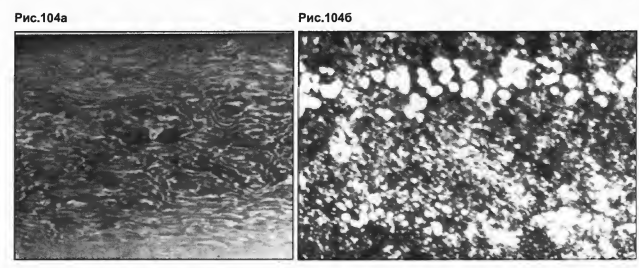


Рис.104а **Рис.104б**



цевцы принадлежали к группе племён сюнну, предков гуннов. Как подчёркивалось в работе [Миняев С.С., «Сюнну», в сб. «Исчезнувшие народы», М., Наука, 1988, стр.119], эпоха господства сюнну была связана с тем, что им удалось освоить ранее своих соседей выплавку железа и наладить широкое производство железных изделий, в первую очередь оружия.

II. ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

2.3. Системность. 2.5. План

Уникальная структура литого металла из Польце потребовала организовать детальное комплексное исследование. Наш план работы включал следующие этапы:

• Исследование состава, структуры и микротвёрдости различных фаз литого сплава, как матрицы, так и включений;

• Поиск простого процесса, не требующего специального оборудования и приборов, посредством которого можно было бы создать в сплаве структуру с мелкими сферическими частицами;

• Проверка предлагаемой технологии в пробных плавках.

3.3.2. Исследование принципиально важных эффектов

Упрочнение сплавов твёрдыми частицами, равномерно распределёнными в более пластичной матрице - «дисперсионное упрочнение» - является одним из основных принципов современного металловедения. Школьными примерами такого типа сплавов являются дюраль, нихром, легированные стали, упрочнённые карбидами вольфрама, хрома и других элементов. Поэтому первоочередной задачей исследования было выяснение наличия легирующих примесей в сплаве и их распределения между частицами и матрицей. Проведённый на микрозонде SX-50 анализ показал, что материал литого Польцевского кельта представляет собой высокоуглеродистую сталь с содержанием около 1.5 вес.% C, 0.2-0.3 % Cu, 0.2% Si и лишь следами таких обычно используемых в современной металлургии легирующих элементов как W, Mo, Cr, Mn, Ni. Упрочняющие частицы в кельте состоят в основном из цементита Fe_3C. Измерения микротвёрдости частиц и матрицы согласуются с данными об их составе.

Прецизионное установление химического состава частиц и матрицы позволило исключить из рассмотрения поиск возможных легирующих добавок и термообработок и прийти к чётко сформулированной проблеме: найти простой метод создания в высокоуглеродистой стали структуры с мелкозернистым цементитом.

III. РЕШЕНИЕ

1.1. Проблемы, сформулированные и изучавшиеся предшественниками

«Самая лучшая сталь, которую когда-либо где-либо делали, есть, без сомнения, булат», - отмечал один из основоположников металловедения Д.К.Чернов. Булат, или дамасская сталь, известен на Востоке около двух тысяч лет. Она обладает необычайно высокой прочностью при большом запасе пластичности и характерным узором на травлёной поверхности. Европейские кузнецы, не смотря на многовековые попытки освоить производство дамасской стали, смогли лишь получить рисунок на травлёной поверхности посредством ковки набора пластин из чередующихся слоёв высокоуглеродистой и мягкой стали (такой материал называется обычно «ковочным булатом»). Русский металлург Павел Петрович Аносов в результате изысканий, проведённых в Златоусте в 1828-1841 годах, показал, что булат представляет собой высокоуглеродистую сталь с содержанием углерода около 1.3-1.7 вес.%, подвергнутую многим циклам интенсивной ковки при высокой температуре с промежуточными отжигами [Аносов, Горный журнал, 1841, Ч.1., Кн.2.]. Механизм упрочнения Дамасской стали был впервые объяснён в работах Николая Ивановича Беляева [Journal of the Irron and Steel Institute, 1918, No.I, p. 417; 1921, No. II, p.181], организатора завода «Электросталь» и кафедры специальных сталей Московской Горной Академии.

2.2. Суть явления

Характерной особенностью структуры слитков высокоуглеродистой стали, получаемых обычно при обычной технологии литья, является наличие цементита Fe_3C в виде толстых пластин и грубых выделений по границам зёрен, **Рис. 105**. Такой материал обладает высокой твёрдостью и практически нулевой пластичностью. При высокой температуре, около 700-800оС цементит становится пластичным и при интенсивной ковке с промежуточными отжигами разбивается на цепочки округлённых частиц, **Рис. 104-б.** Сплав с такой структурой обладает высокой прочностью и пластичностью. Образование сферических частиц цементита в дамасской стали есть результат двух процессов. Первый процесс – разбиение грубых цементитных пластин и выделений на границах зёрен и тонких пластин цементита в перлите на части при высокотемпературной деформации, когда цементит становится пластичным. Второй процесс - образование сферических частиц из обломков исходных пластин при высокотемпературном отжиге вследствие стремления системы к минимуму поверхностной энергии.

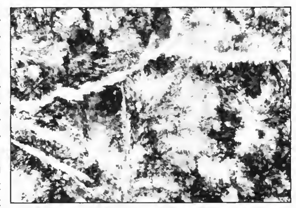


Рис.105

1.7. "Верую!» Вызов. 2.1. Независимость

Любой современный металлург знает, что такое дамасская сталь, и твёрдо убеждён, что для её производства необходима интенсивная термомеханическая обработка. Но археологические образцы из Польце указывают на возможность получения аналогичной структуры и соответствующего комплекса прочностных характеристик в литых изделиях! Если древние металлурги на Дальнем Востоке открыли способ производства такого уникального материала литьём, без платиновых термопар и без учёной степени в области физики прочности, **я могу, я должен** сделать то же и даже лучше!!

3.4.6. Аналогия. 3.5. Интуиция

Начальный этап решения проблемы, анализ на микрозонде SX-50 элементов, образующих матрицу сплава и частицы, явился важной частью процесса уяснения и формулировки проблемы. Исключение из рассмотрения возможной роли каких-либо специальных карбидообразующих добавок на формирование структуры Польцевской литой стали, облегчило поиск технологии её производства, поскольку свело его к поиску процесса производства Дамасской стали литьём. Знание, что интенсивная ковка при высокой температуре является необходимым требованием для производства Дамасская стали, навесило, образно говоря, шоры на мои глаза (единственное оправдание, что в аналогичной ситуации были все металлурги, имеющие дело с производством этой уникальной стали в течение столетий). Поэтому я никак не мог найти ключевое отличие Польцевской технологии от тех методов, что обычно применяют металлурги. И вот однажды, через полгода раздумий, мой полудремлющий мозг выдал сразу два разумных решения. Я могу восстановить последовательные шаги анализа. Читатель, не интересующийся проблемами техники, по-видимому, пролистнёт последующие страницы, не вдаваясь в детали процесса. Посему следует сразу отметить здесь важные моменты, касающиеся сути интуиции, а именно, какие отделы «базы данных» в моей голове, не относящиеся непосредственно к данной проблеме, способствовали нахождению её неожиданного, нестандартного решения. Как это ни покажется на первый взгляд удивительным, но область процессов, по аналогии с которыми возникла ключевая идея, была связанной не с металлофизикой, являющей моим профессиональным полем деятельности, а с преподаванием. В Приложении 1 приведено разработанное мной ещё в начале 1970-х пособие для учащихся Новосибирской Физматшколы «Как решать задачи по физике». Некий раздел мозга сам, без подталкивания, начал привычно анализировать проблему не как научную, а как обычную школьную задачу. Ключевая идея в решении проблемы была получена автоматически при отработке первых положений схемы, рекомендованных для уяснения задачи: «1.2. Представить себя бревном, молекулой…» и «1.3. Какие параметры определяют ход процесса? Оценить существенные, рассматривая предельные случаи». Фактический материал, по аналогии с которым возникла идея Польцевской технологии, относится к подразделу Фазовые переходы в твёрдом состоянии школьной программы по Молекулярной физике. При полудрёмном просмотре материала ярко высветились два аналогичных процесса, в которых в определённых условиях кристаллизации возникали сферические частицы. Во-первых, это процесс формирования градин. Во-вторых, это образование детонационных алмазов за фронтом ударной волны во взрывчатых веществах, в которых в продуктах детонации остаётся довольно высокая концентрация свободных атомов углерода (это явление было обнаружено А.М.Ставером и А.И.Лямкиным в нашей лаборатории). От чёткой картины механизма образования градин и роста сферических алмазных частиц в продуктах детонации оказалось достаточным сделать всего лишь полшага до понимания искомого механизма образования сферических части цементита в высокоуглеродистой стали и особенностей соответствующего технологического процесса.

3.4. Анализ

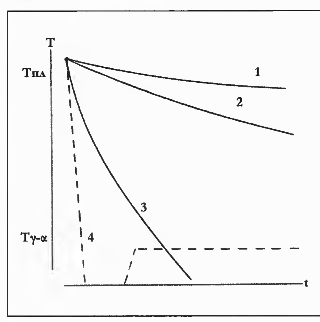
Охлаждение из расплавленного состояния приводит к уменьшению растворимости атомов углерода в застывающем металле. Я представил себя атомом углерода в горячем твёрдом растворе и сразу же почувствовал, что возможно формирование разных структур из выделяющихся из твёрдого раствора атомов углерода в зависимости от скорости охлаждения. Два предельных случая тривиальны:

1 – образование крупных выделений графита (термодинамически равновесной фазы) при очень медленном охлаждении;

4 – образование так называемого «аморфного состояния» с отсутствием дальнего порядка при практически мгновенном охлаждении расплава.

Образование цементита Fe_3C, метастабильной фазы в системе Fe-C, имеет место в промежуточном интервале скоростей охлаждения. В процессе охлаждения, как следует из факта существования Польцевского литого булата, возможно формирование либо обычной, пластинчатой формы цементита, либо сферических частиц. Какая форма цементита образуется, может зависеть от соотношения между скоростью охлаждения

Рис.106



и скоростью протекания диффузионных процессов, точнее, от скорости выделения атомов углерода из твёрдого раствора при понижении температуры, **Рис. 106**:

3 – рост пластинчатой формы цементита – более быстрый процесс по сравнению с ростом сферической частицы того же объёма из-за меньшей величины расстояния, требуемого для диффузии атомов углерода в формируемую частицу;

2 – формирование сферических частиц цементита - сравнительно медленный процесс, и следует ожидать, что он будет иметь место в некотором, не очень широком интервале скоростей охлаждения расплава между режимами 1 и 3.

3.6.1. Модель явления

Чем больше радиус цементитной частицы, тем большее время требуется для диффузии атомов из пересыщенного однородного твёрдого раствора атомов углерода в железе для её образования. В первом приближении предельное расстояние R, откуда приходят атомы углерода при образовании цементитной частицы радиуса r, можно найти из уравнения

$4/3\ \pi\ r3\ ¼ = 4/3\ \pi\ R^3\ C$, $R = r\ \sqrt[3]{C/4}$, где **C** – средняя начальная концентрация атомов углерода в твёрдом растворе, ¼ - относительная доля атомов углерода в цементите. Расстояние **R** определяет время диффузии, то есть время пребывания остывающего металла в области высоких температур, и, следовательно, характерное значение скорости охлаждения металла из расплава.

По-видимому, сравнительно медленное охлаждение металла из расплава (метод 2, согласно нашей схеме) использовалось польцевцами для получения мелкозернистой структуры цементита в литой высокоуглеродистой стали. Альтернативный метод номер 4 – резкое охлаждение с последующим коагулирующим отжигом, они не могли реализовать просто из-за отсутствия технических средств. Простым и легко воспроизводимым способом получения желаемой структуры в условиях древней металлургии было литьё в подогретую форму.

IV. ПРОВЕРКА

В промышленных условиях на Новосибирском Авиационном заводе им. Чкалова были проведены опытные плавки для проверки возможности получения в литой высокоуглеродистой стали структуры литого булата. Положительные результаты были получены в обеих предложенных технологиях, как при отливке в предварительно подогретую керамическую форму, так и при резкой закалке при литье в медную форму с последующим отжигом. На **Рис. 107** показана структура стали с 1.8% С, отлитой в форму, нагретую до 700°С и выдержанной затем в течение 4 час при 800°С. Механические характеристики этого образца, предельная прочность на разрыв σB = 1200 МПа при пластичности ε = 10%, превышают механические характеристики современных литых сталей. При оптимизации состава и режима термообработки значение предельной прочности литой высокоуглеродистой стали превысит 1500-2000 МПа при том же уровне пластичности.

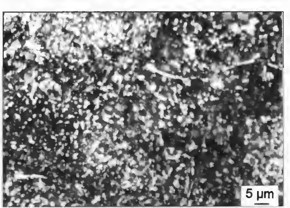


Рис.107

3.6.2. Правила. Обобщение

В основе метода получения высокоуглеродистой стали со структурой мелкозернистого цементита лежат два физических эффекта. Первый – уменьшение растворимости углерода в стали с понижением температуры, и, следовательно, его выделение из твёрдого раствора в виде новой фазы. Второй эффект - стремление к формированию частиц фазы, выделяющейся из твёрдого раствора, с минимальной величиной энергии межфазных границ, то есть стремление к образованию сферических частиц. Оба этих эффекта имеют фундаментальный, общий характер. *Природа любит красоту*, и использует один и тот же принцип, одно и то же красивое решение для многих аналогичных процессов. Уменьшение растворимости примеси в твёрдом растворе с понижением температуры является общей закономерностью для большинства двойных систем. Образование при высокой температуре сферических частиц также является общей закономерностью. Поэтому столь полезный для практики процесс формирования мелких упрочняющих частиц в пластичной матрице должен иметь место не только в простой высокоуглеродистой стали. Предложенный метод представляет собой основу для создания нового класса высокопрочных и пластичных литых сплавов: легированных сталей; сплавах с другой основой (никелевые, титановые, циркониевые сплавы, и др.); сплавов с другими легирующими примесями, образующими прочные частицы выделений (интерметаллиды, бориды, и др.). Возможность создания аналогичных сплавов в некоторых перспективных системах обоснована на основе анализа их фазовых диаграмм и известных структурных исследований. В недавней пробной плавке микроструктура с субмикронными сферическими частицами карбидов была получена на модельном сплаве – нержавеющей стали Х18 Н10 Т с добавкой 1.5% С ! **Рис.108**

Несомненно, предложенная технология производства высокопрочных литых деталей из мало легированной высокоуглеродистой стали и других сплавов будет в скором времени применяться во многих отраслях промышленности.

V. ПУБЛИКАЦИИ

1. «Физико-Технические Основы Получения Литого Булата», Доклады Академии Наук, 1999, том 369, №3, стр. 334-336

2. United States Patent, M.A. Mogilevsky “Method of Forming Cast Alloys Having High Strength and Plasticity”, Patent No.: US 6,764,560 B1, Date of Patent: Jul. 20, 2004

3. “Cast Ultrahigh Carbon Steels With Damascus Type Microstructure”, Materials Technology, March 2005, Vol. 20, Number 1, p. 12-14.

4. “Cast Ultra High Carbon Steel with fine grain cementite microstructure”, report at the Micro Nano Breakthrough Conference, Vancouver, WA, July 2006.

ЛИТЕРАТУРА

Манускрипты Леонардо да Винчи

B.M., Ms. Arundel 263, British Library (formerly British Museum), dated 1504, 1508, 1516
B.N. 2038, Ms. Ashburnham I, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1492
C.A., Codex Atlanticus, Milan, Biblioteca Ambrosiana, dated 1483 - 1518
Fogli A and B, Dell' Anatomy Fogli A and B, Royal Library, Windsor
Forster I, London,Victoria and Albert Museum, 1487 - 1505
Forster II, London, Victoria and Albert Museum, 1493 - 1497
Forster III, London, Victoria and Albert Museum, 1490-1493
Hammer, Codex Hammer (Leicester, Gates), Seattle, Collection of Bill Gates, 1503 - 1508
Madrid I, Madrid, Biblioteca Nacional, 1493
Madrid II, Madrid, Biblioteca Nacional, 1503-1504
Ms. A, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1491-1492
Ms. B, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1487-1490,
Ms. C, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1490
Ms. D, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1508
Ms. E, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1513-1514
Ms. F, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1508-1509
Ms. G, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1510/1516
Ms. H, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1493 - 1494
Ms. I, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1495 - 1499,
Ms. K, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1506-1507-f.14; 1506-1507 –f.109
Ms. L, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, 1497, 1502/1503
Ms. M, Paris, Biblioteque de l'Institut de France, до 1500
Quaderni I-VI, Quaderni d'Anatomia I-VI, Royal Library, Windsor, 1486-1515
Sul Volo, Codice Sul Volo degli Uccelli, Turin, Royal Library, 1505-1506,
Tr., Codex Trivulziano, Milan, Castello Sforzesco, 1487-1488
TP, Treatise on Painting, Vatican, Codex Urbinas Latinus 1270, Treatise on Painting by Leonardo da Vinci, ed. A. McMahon, 1956
Windsor, Royal Library, Collection of Her Majesty The Queen
The Notebooks of Leonardo da Vinci, ed. E. MacCurdy, 1941
The Notebooks of Leonardo da Vinci, ed. J.P.Richter, 1970 (1883)

Публикации на Русском языке

1. Леонардо да Винчи. Избранное. М., Гослитиздат, 1952
2. Леонардо да Винчи, Избранные Естественнонаучные Произведения, под ред. В.П.Зубова, Изд-во АН ССР, Москва, 1955
3. Баткин Л.М., Леонардо да Винчи и особенности ренессансного творческого мышления, М., Искусство, 1990
4. Бродянский В. М., Вечный двигатель - прежде и теперь, М., Энергоатомиздат, 1989
5. Вавилов С.И., Галилей в истории оптики, в сб.: Галилео Галилей, к 300-летию со дня смерти, М., АН, 1943
6. Гастев А., Леонардо да Винчи, ЖЗЛ, М., Молодая гвардия, 1984
7. Гуковский М.А., Механика Леонардо да Винчи, М., АН, 1947
8. Зубов В.П., Леонардо да Винчи, М.-Л., 1962
9. Зубов В.П., Комментарии к «Избранным Естественнонаучным Произведениям» Леонардо да Винчи, Изд. АН СССР, М, 1955
10. Лаврентьев М.А., Наука. Технический прогресс. Кадры., Новосибирск, Наука, 1980
11. Мигдал А.Б., Как рождаются физические теории, М., Педагогика, 1984
12. Могилевский М. А., Леонардо да Винчи и принцип невозможности вечного двигателя, Квант, №5, 1999
13. Могилевский М. А., Оптика от Леонардо, Наука из первых рук, Новосибирск, Инфолио-пресс, 2006, №5

14. Могилевский М. А., Леонардо о Природе Воды, Наука из первых рук, Новосибирск, Инфолио-пресс, 2007, №5
15. Могилевский М.А., М.А.Лаврентьев и реформа образования, Сибирский Учитель, Новосибирск, 2007, №4
16. Ольшки Л., История научной литературы на новых языках, тт. I-III. М-Л, 1934
17. Планк М., Принцип сохранения энергии. М., ГОНТИ, 1938.
18. Раушенбах Б.В., Пристрастие, М., Аграф, 2002
19. Раушенбах Б.В., Геометрия картины и зрительное восприятие, СПб, Азбука-классика, 2002
20. Тикотин М.А., Леонардо да Винчи в истории анатомии и физиологии, Медгиз, Ленинград, 1957
21. Толстой Л.Н., Собрание сочинений, Полное Собр. Сочинений, 1880 – т.48, стр. 338; 1910 – т. 89, стр. 220

Публикации на иностранных языках

22. Ackerman J., Science and Art in the Work of Leonardo, in: Conf.1969a, p.205
23. Argentieri D., Leonardo's Optics, in: Leonardo da Vinci, Instituto Geografico De Agostini, Milano (1938), second edition,1996 , p.405
24. Asimov I., Nine Tomorrows, Pan Books, London, 1966
25. Begley S., Your child's brain, Newsweek, Febr.19, 1996, p.55
26. Boeke K., Cosmic View, 1957, Faber ed., London
27. Bridgman P.W., The Logic of Modern Physics, N.Y., MacMillan, 1927
28. De Broglie Louis, Sur les Sentiers de la Science, Ed. Albin Michel, Paris, 1960
29. Buzan T. and B., The Mind Map Book, Plume Books, N.Y., 1996
30. Calder R., Leonardo & the Age of the Eye,N.Y,Simon,1970
31. Cianchi, M., Leonardo's machines. Florence, Becocci, 1984.
32. Clagett M. The Science of Mechanics in the Middle Ages, Univ. Wisconsin Press, Madison, 1959
33. Clark K. On the Relation between Leonardo's Science and His Art (original edition 1952), in: Philipson 1966, p. 209
34. Clayton M., Leonardo da Vinci, A Singular Vision, 1996, Abbeville Press, N.Y.
35. Conf. 1909, LEONARDO DA VINCI, Firenze, Tip. Treves, Milano,1910.
36. Conf. 1919, Per il IV CENTENARIO della MORTE di LEONARDO DA VINCI,
Roma, 11 maggio MCMXIX, Inst. It. d'Arti Grafiche, Bergamo
37. Conf. 1952, LEONARD DE VINCI ET L'EXPERIENCE SCIENTIFIQUE AU XVI^e SIECLE , Colloque internat., Paris, 4 -7 juil.1952, Presses Universit. De France, Paris, 1953
38. Conf. 1969, LEONARDO NELLA SCIENZA E NELLA TECNICA, Firenze - Vinci 23-26 giugno 1969, Giunti, 1975.
39. Conf. 1969a, LEONARDO'S LEGACY, Berkely and Los Angeles, ed. C.D. O'Malley, Univ. of Calif. Press
40. Conf. 1982, LEONARDO E L'ETA DELLA RAGIONE, ed. E.Bellone and P.Rossi, Milano, Scientia
41. Descartes R., Discourse on Method, English translation by Cress D.A., Hackett Publ.
Comp., Indianapolis, 1993
42. Dibner B., Leonardo: Prophet of Automation, in: Conf. 1969a, p.101
43. Dibner B., Leonardo and the Third Dimension, in: Conf. 1982, p.79
44. Dibner B., Machines and Weaponry, in: The Unknown Leonardo, ed. L.Reti, 1990, EMV, Switzerland, p.166
45. Duvall G.E., Three blind men and an elephant, in: Shock compression of condensed matter, Elsevier Science Publishers, 1990, p. 3
46. Einstein A., The Expanded Quotable Einstein. Collected by A. Calaprice, Princeton, 2000
47. Emanueli P., Da Vinci's Astronomy, in "Leonardo da Vinci" (1938) 1996, p.205
48. Emboden W.A., Leonardo da Vinci on plants and gardens, UCLA, 1987
49. Exhibition of the Scientific Achievements of Leonardo da Vinci, Loaned by the Italian Ministry of Popular Culture to N.Y. Museum of Science and Industry, 1940
50. Fadles of Leonardo da Vinci, Interpreted by Bruno Nardini, Northbrook, Illinois, 1973
51. Fishbach G.D., Mind and Brain, A Scientific American Special Report, 1994
52. Fleckenstein J.O., Lionardo und die Kosmologie der Antike, in: Conf.1969, p.31, 1969
53. Freud S., Leonardo da Vinci and a memory of his childhood, Vienna 1910/N.Y.1964

54. Fritz J.a Talbott H., Leonardo's Horse, N.Y., 1988
55. Galluzzi P., Gli ingegneri del Rinascimento da Brunelleschi a Leonardo da Vinci, Giunti, 1996
56. Gingerich O., Islamic Astronomy, Scientific American, April 1986
57. Goldstein T., Dawn of Modern Science, Da Capo Press, NY,1995
58. Gombrich E.H., The form of movement in water and air, Conf. 1969a, p. 171
59. Gowan J.C., Some new thoughts on the development of creativity, The Journal of Creative Behavior, 1976, v. 11, № 2, 77
60. Hancock L., Why do schools flunk biology?, Newsweek, Febr. 19, 1996, p.58
61. Hart I.B., The World of Leonardo da Vinci, Viking Press, N.Y., 1962
62. Hart I.B. The Mechanical Investigations of Leonardo da Vinci, Univ. Calif. Press, 1963
63. Heydenreich L.H., The military architect, in: The Unknown Leonardo, ed. L. Reti, 1990, EMV, Switzerland, p.136
64. Hooykaas R., La theorie corpusculaire de Leonard de Vinci, in : Conf. 1952, p. 163
65. Hujer K., Astronomy of early Renaissance and Leonardo da Vinci, in: Conf.1969, p.37
66. Keele K.D., 1962, Leonardo da Vinci's Physiology of the Senses, in: Conf. 1969a, p. 35
67. Keele K.D., 1982, Leonardo's Science of Man, in: Conf. 1982, p. 421
68. Kemp M., The crisis of received wisdom in Leonardo's late thought, in: Conf.1982, p.27
69. Kemp M., Leonardo da Vinci, The Marvelous Works of Nature and Man, 1989
70. Kemp M., Walker M., Leonardo on Painting, Yale, 1989
71. Klibansky R., Copernic et Nicolas de Cues, in: Conf. 1952, p.225
72. Koyré A., The Beginnings of Modern Science (original edition1964), in: Philipson 1966, p.146
73. Kuhn T.S., The Copernican Revolution, Harvard Univ. Press, 1957
74. Leonardo da Vinci, Instituto Geografico De Agostini, Milano (1938), second edition, 1996
75. Leonardo da Vinci Loan Exhibition, Los Angeles County Museum, The Catalogue, 1949
76. Levi E., Leonardo precursore della scienza idraulica, in: Conf 1982, p.399
77. Koyré A., The Beginnings of Modern Science (original edition 1964), in: Philipson 1966, p.146
78. Macagno E.O., Mechanics of Fluids in the Madrid Codices, in: Conf. 1982, p.333
79. Marinoni A., Leonardo as a writer, in: Conf. 1969a, p. 57
80. Marinoni A., The Bicycle, in: The Unknown Leonardo, ed. L.Reti, 1990, EMV, Switzerland, p.288
81. Marinioni A., Da Vinci's Philology, in: Leonardo Da Vinci, Instituto Geografico De Agostini, Novara 1996, p. 215
82. McLanathan R., Image of the Universe. Leonardo da Vinci: The Artist and Scientist, N.Y., 1966
83. Newton Isaac, Mathematical Principles of Natural Philosophy, 1687
84. O'Malley C.D., Saunders J.B., Leonardo da Vinci on the human body, N.Y., 1952
85. Orestano F., Leonardo. Galilei. Tasso, Fratelli Bocca, Milano, 1943
86. Olszewski E., Leonardo da Vinci as the forerunning of engineering sciences, in: Conf. 1969, p.85
87. Pedretti C. Introduction to the Hammer Codex, Giunti Barbera, Florence, 1987
88. Pedretti C., Leonardo, Art and Science, Giunti, Florence, 2005
89. Philipson M. , Ed., Leonardo da Vinci - Aspects of the Renaissance Genius, G. Braziller, N.Y., 1966
90. Pozza N., Leonardo da Vinci e i fossili, Ligabue, Vicenza, 1975
91. Randal J., cited in Conf. 1969a, p.64
92. Reti L., Leonardo's experiments on combustion, J. Of Chemical Education, 1952, v. XXIX, p. 590
93. Reti L., The Madrid Codex, Vol. III, Commentary, McGraw-Hill, 1974
94. Reti L., Leonardo da Vinci the Technologist: The Problem of Prime Movers, in: Conf.1969a, p.67
95. Reti L., Elements of Machines, in: The Unknown Leonardo, 1990, p.264
96. Rickover H.G., American Education-a National Failure, 1963
97. Russell P., The Brain Book, Plume Book, N.Y., 1979
98. Sagan C., Dragons of Eden, Random House, 1977
99. Sarton G., Art and Science (original edition 1957), in: Philipson 1966, p. 158
100. Sarton G., Six Wings – Men of Science in the Renaissance, Indiana Univ. Press, 1957
101. Saunders J.B. & O'Malley C.D., Vesalius, World Publishing Co., Cleveland, 1950
102. Simonton D.K., Genius, Creativity, and Leadership, Harvard Univ., Cambridge, 1984
103. Solmi E., Leonardo, Firenze, Barbera, 1923
104. Stites, R. S. and Leonardo,The sublimations of Leonardo da Vinci, with a translation of the Codex Trivulzianus, Smithsonian Institution Press, 1970

105. Teodoro F. e Barbi L., Leonardo da Vinci: Del riparo a' terremoti, Physis (Rivista intern.di storia della Scienza), 1983, Fasc.1, p. 5

106. Timpanaro S., The Physics of da Vinci, in: Leonardo da Vinci, Instituto Geografico De Agostini, Milano (1938), second edition,1996, p. 209

107. Truesdell C., Fundamental Mechanics in the Madrid Codices, in: Conf 1982, p. 309

108. Turner A.R. Inventing Leonardo, Berkley, Univ. of Calif. Press, 1994

109. Uccelli A., I Libri del Volo di Leonardo da Vinci nella riconstruzione critica di Arturo Uccelli con la collaborazione di Carlo Zammatio, Hoepli, Milano, 1952

110. The Unknown Leonardo, ed. L. Reti, 1990, EMV, Switzerland, p.136

111. Valéry P., Introduction to the method of Leonardo da Vinci, John Rodker Ed., London, 1894/1929

112. Vasari G., Lives of the Painters, Sculptors and Architects (1550), 1996, Random House, London, 1996

113. Veltman K., Visualization and Perspective, in: Conf. 1982, p. 185

114. Wallace R., The World of Leonardo, Time Inc., N.Y.,1966

115. Ward P.D. and Brownlee D., The Life and Death of Planet Earth, Times Books, N.Y., 2002

116. Whewell W., Theory of Scientific Method, Ed.by R.E.Butts, Indianapolis, 1989

117. Winternitz E., Leonardo and Music, in: The Unknown Leonardo, ed. L.Reti, 1990, EMV, Switzerland, p. 110

118. Zammatio C., Mechanics of Water and Stone, in: The Unknown Leonardo , ed. L.Reti, 1990, EMV, Switzerland, p.190

ПРИЛОЖЕНИЕ

КАК РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ

Конспект лекции, предназначавшейся первоначально для учащихся Летних Физмат Школ в Новосибирском Академгородке, начиная с 1970 г.

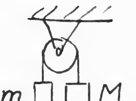
Типы школьных задач по физике

1.Простейшие (одно – формульные)

Например: даны сила **F** и масса **m**. Найти ускорение а.

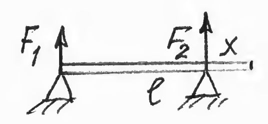
1-а. Формульные в 2 действия





Найти ускорение а.

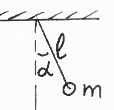
б)



Даны **m, l, x**. Найти **F1,F2.**

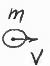
2. Комбинированные (формулы из разных разделов)

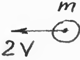




Найти натяжение нити при прохождении шариком положения равновесия.

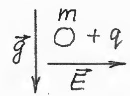
б)





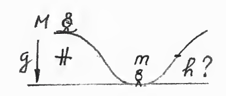
При соударении шарики слиплись.
Найти изменение температуры ΔT.

в)



Шарик m с зарядом q помещён в перпендикулярные гравитационное и электрическое поля. Написать уравнение движения шарика.

г)



Лыжник массы M съезжает с горки высоты H, внизу подхватывает мальчика массы m. На какую высоту h они поднимутся? Трением о снег и сопротивлением воздуха можно пренебречь.

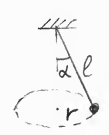
3. Качественные

а) Облака состоят из маленьких капелек воды. Плотность воды примерно в 1000 раз больше плотности воздуха. Почему облака не падают, а пролетают обычно огромные расстояния, прежде чем выпадут в виде дождя (например, от Гольфстрима до Сибири).

б) Может ли коэффициент трения быть больше 1?

4. Экспериментальные (объяснить наблюдаемое явление или получить какой-либо результат из опыта и из теоретического расчёта).

а)



Измерить период вращения конического маятника (время одного оборота). Оценить, каким он будет при малых углах. Сравнить с периодом колебаний математического маятника.

б) Сковородка постепенно нагревается. Осторожно капают на неё капельку воды. Как зависит время на испарение капли от температуры? Построить качественный график время до испарения – температура. Объяснить наблюдаемый немонотонный характер зависимости.

в) *Объяснить*, почему гвоздь из доски вытаскивается легче, если его при этом поворачивать вокруг оси.

5. Оценочные (предложить простую модель явления, выделив наиболее важное. Получить численную оценку).

а) Оценить скорость вылета пули из патрона для карабина, если патрон бросить в костёр.

б) Оценить давление в электрической лампе.

в) Оценить, за какое время давление в космическом корабле упадёт на 5%, если микрометеорит пробьёт в корпусе корабля отверстие площадью в 1 см^2.

Рекомендуется следовать при решении задач по физике предлагаемой схеме (с гарантией 60-80% при решении задач Олимпиадного уровня, если у Вас есть некоторое базовое образование и настойчивое желание добиться успеха).

Как решать задачи по физике

(конспект – «шпаргалка» для учащихся)

I. Уяснение

1. 1 (5) минут ничего не писать.
2. Представить себя бревном (молекулой, электроном – объектом, с которым что-то происходит согласно условию задачи).
3. От каких параметров зависит явление? Оценить существенные параметры, придавая им экстремальные значения (0, ∞).
4. Нельзя ли решить свести задачу к простой, к известной?

II. Решение задачи

1. Чертёж.
2. Удобная система отсчёта.
3. Законы сохранения.
4. Частный закон, описывающий процесс (универсальный газовый, закон Ампера и пр.)
5. При решении качественных задач быть особо внимательным к определениям, к сути явления.
6. Нельзя ли идти от очевидного ответа? Например: равновесие, невозможность вечного двигателя.

III. Анализ. Проверка

1. Разумность ответа.
2. Размерность.
3. Нельзя ли решить задачу проще, красивее?

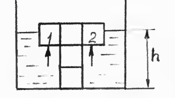
Комментарий для учителей

I. Уяснение

1-1. Очень важно на контрольных, на вступительных экзаменах. Нужно продумать сначала все задачи. Пока одну записываешь, другие «прокручиваются» в голове.

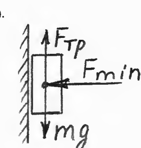
1-2. Помогает неформально подойти к проблеме.

1) Пример для обучения.



Тело из пяти склеенных кубиков плотности $\rho_0 < \rho$ воды стоит на дне сосуда. Под основание вода не проникает. В сосуд наливают воду. При каком уровне воды тело всплывёт?
Стандартная ошибка – сразу записывают закон Архимеда.
На самом деле, если представить себя бревном (в прямом, не в переносном смысле), будешь чувствовать, что вода холодная, что сжимает сбоку. Тело отрывается от дна лишь за счёт действия давления снизу на две верхние грани: $\rho\, \mathbf{g}\, (\mathbf{h} - \mathbf{2a}) \cdot \mathbf{2}\, \mathbf{a}^2 > \mathbf{5}\, \rho_0\, \mathbf{a}^3\, \mathbf{g}$.

2).



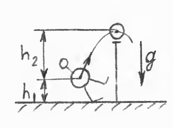
При какой минимальной силе **N** прижатия книги в стенке (представить себя книгой) она не будет падать?

Покой означает, что сумма сил в вертикальном направлении равна нулю. Сила тяжести **mg** уравновешивается силой трения **μN** (добейтесь, чтобы ученики сами почувствовали, что в этом случае $F_{тр} \neq \mu mg$).

3) Капля на сковородке – задача № 4-6 из вводной части. При некоторой температуре сковороды **T > 100°C** образуется паровая подушка, и капля долго бегает.

1-3. Важнейший вопрос, способствующий творческому подходу к изучаемому явлению.

1) Пример. Вопрос ученику: «Каков твой личный рекорд в прыжках в высоту? А на сколько ты мог бы прыгнуть на луне, если бы соревнования проводились в закрытом помещении?»



Стандартный ответ: $g_{луны} = 1/6\, g_{земли}$. $V^2 = 2gh$.

Значит, прыжок на луне был бы в 6 раз выше. Как-то мне довелось услышать такое заявление в специальной передаче по Американскому телевидению из уст астронавта, побывавшего на Луне. А ведь дети доверчивы, учителю будет очень нелегко потом переучивать!

На самом деле высота прыжка определяется скоростью в момент толчка и ростом прыгуна. Центр масс в момент толчка находится не на поверхности земли, и потому, в предположении, что толчковая скорость не изменится,

$V^2 = 2g\,(h - h_{цм})$. $h_л = h_{цм} + 6\,(h_з - h_{цм})$.

При высоте прыжка на земле $h_з \approx 1.5$ м и $h_{цм} \approx 0.8$ м $h_л \approx 5$ м, а не 9 м.

Если ученики скажут, что всё поняли, попросите их самостоятельно уточнить ответ, исследовав, на сколько изменится на луне толчковая скорость в момент прыжка.

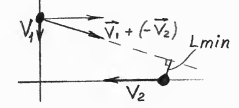
2) Во время дождя капля падает на боковое стекло автобуса. Наблюдать и объяснить характер её движения.

3) Оценить, с какой скоростью можно «ходить» по воде.

II. Решение задачи

2-2. Выбор удобной системы отсчёта, в частности, связанной с центром масс или с каким-либо из тел, облегчает решение задачи.

Пример 1: машины движутся прямолинейно по пересекающимся дорогам. Заданы их скорости и начальные положения. Найти минимальное расстояние между машинами.



Переход в систему отсчёта, связанную с машиной 1, означает, что всё вокруг, включая и машину 2, получило переносную скорость (**- V1**). Графическое решение показано на рисунке.

Пример 2: Теннисный мяч летит со скоростью **V**, ударяется о ракетку, движущуюся навстречу ему со скоростью **u**. Удар упругий. Какова скорость мяча после удара? Почему теннисисты стремятся встретить мяч как можно ближе к сетке?

Решение: переход в систему отсчёта, связанную с ракеткой. Затем возвращение в систему отсчёта, связанную с землёй.

Ответ: **V + 2u**

2-3. Законы сохранения (энергии, импульса, центра масс, момента количества движения, заряда) *сформулированы учёными специально для того, чтобы облегчить школьникам решение задач.*

Пример 1. Электрон, движущийся издалека со скоростью V_0 в направлении на второй, первоначально покоившийся электрон. Найти минимальное расстояние **L** между зарядами. Чем закончится процесс взаимодействия зарядов?

Решение: минимальное расстояние будет иметь место при $V_1 = V_2 = V$

Закон сохранения импульса: $mV_0 = 2\ mV$

Закон сохранения энергии: $mV^2_0/2 = 2 \cdot mV^2/2 + k\ e^2/L$

Пример 2. Задача № 2-г из вводной части, про лыжника.

Ответ: $h = H \cdot M^2/(M+m)^2$

Пример 3. Конденсатор с ёмкостью **C**, заряженный до разности напряжений **V** подсоединили в такому же, первоначально не заряженному. Суммарная энергия конденсаторов уменьшилась. Неужели это означает нарушение закона сохранения энергии?

2-4. Качественные задачи и вопросы предназначены для проверки понимания сути явления. Формальные, *бездумные* ответы, как правило, ошибочны.

Пример: задача №3-б из введения, «Может ли коэффициент трения быть больше 1»? Обычно говорят – нет. По определению, коэффициент трения покоя определяется из соотношения: минимальная сдвигающая сила ≥ силы трения $F_{тр} = \mu N$, где N – сила нормального давления. Если, например, бревно примёрзло к земле или доска утыкана гвоздями, или идеально гладкие металлические поверхности без окисных плёнок схватились на атомном уровне, то коэффициент трения может стать много больше 1. Проведите расчёт для медного кубика объёмом 1 см^3, который при выдержке в вакууме при высокой температуре приварился к подложке из чистой меди.

2-6. Задачи про вечный двигатель, некоторые экспериментальные.

III. Проверка

Приучать учащихся проверять полученные решения на разумность ответа следует посредством анализа графиков. При рассмотрении предельных случаев ответ обычно тривиален.

Пример решения оценочной задачи

Задача № 4-а из вводной части: оценить скорость вылета пули из патрона для карабина, если патрон бросить в костёр.

Решение. Известно, что при выстреле пуля из карабина вылетает со скоростью около 800 м/сек. Порох горит достаточно медленно. Будем считать, что по всему стволу пуля движется с постоянным ускорением (это самое простое приближение). $\mathbf{V_0^2 = 2\,a\,L}$ ствола. В костре пороховые газы разгоняют пулю лишь на расстоянии **X** порядка 1 калибра, затем происходит фактически свободный разлёт газов. Итак:

$\mathbf{X} \approx 1$ см, $\mathbf{L} \approx 50$ см, $a \approx const$, $\mathbf{(V/V_0)^2} \approx \mathbf{X/L} \approx 1/50$, $\Rightarrow \mathbf{V} \approx 100$ м/сек.

Если гильза не упирается в землю, будет отдача, скорость вылета уменьшится ещё примерно вдвое.

Желаю успехов в решении интересных задач!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почему-то строки А.С. Пушкина из «Бориса Годунова» сами собой ложатся в заключительный раздел книги, правда с небольшими изменениями: «Ещё одно, последнее сказание - и летопись окончена моя. Исполнен долг, завещанный от Леонардо да Винчи мне, физику, страстно увлекшемуся желанием понять, почему он был столь успешен в научных исследованиях». Испытываешь такое чувство, как будто свалилсь с плеч гора после сдачи тяжёлого экзамена. Ведь прошёл через долгий 35 – летний поиск литературы о научных работах Леонардо, сначала в Российских библиотеках по крохам, затем, во время двухлетней работы в Италии - в ежесубботних поездках в библиотеки и букинистические магазины Милана и Флоренции, а после переезда в Америку - через аукцион на Интернете (посчастливилось, в частности, купить пять малотиражных факсимильных изданий манускриптов Леонардо и несколько раритетов столетней давности). Затем была рутинная, но не изнурительная, а всё-захватывающая работа по просеиванию материала, его систематизации, коллекционирование относящихся к делу рисунков и высказываний Леонардо, вживание в его вйдение проблем, экскурсы во многих областях к работам предшественников и более поздних исследователей с целью чёткого определении сути обсуждавшихся явлений и того, что было достигнуто самим Леонардо . И вот всё это осталось позади.

В итоге удалось ***«создать модель для <u>продолжения</u> мыслительной деятельности Леонардо да Винчи посредством анализа условий, необходимых для её реализации»,*** то есть решить задачу, сформулированную более ста лет назад Полем Валерй, над которой билось не одно поколение исследователей творчества общепризнанного величайшего гения в истории человечества. Не смотря на безвозвратную утерю большей части научных записок Леонардо да Винчи, основные положения его Научного Метода собраны из беспорядочно разбросанных в манускриптах его *собственных высказываний, замечаний, указаний.* Заранее предвижу замечания критиков, что, поскольку в цельном виде описание Научного Метода Леонардо не сохранилось в его записях, то представленную в работе в систематизированном виде схему эффективного подхода к решению проблем едва ли можно называть схемой Научного Метода Леонардо. Да, конечно, представленная в книге на основе анализа записей Леонардо схема не может не нести отпечаток собственного опыта и интересов автора, активно работающего физика и преподавателя Новосибирской ФМШ. Тем более, что главной целью исследования была разработка схемы, удобной для освоения нашими современниками – учёными, учителями, увлечёнными наукой школьниками, для повышения эффективности их мыслительной деятельности. Учащимся ФМШ я обещал, что, следуя советам Леонардо, они смогут работать на уровне, по крайне мере пол-Леонардо, что не так уж плохо. Если бы было возможно обсудить с самим Леонардо да Винчи предлагаемую схему *ЕГО* мыслительной деятельности, то он, полагаю, скорректировал бы некоторые неточно дошедшие до нас высказывания, кое-что добавил, кое-что убрал, но в целом согласился.

В конечном счёте, не многочисленные пионерские открытия Леонардо, которые за прошедшие столетия были вновь открыты, уточнены, углублены и вошли в учебники под другими именами, а именно разработку <u>единого эффективного научного подхода</u> к проблемам, обеспечившую успех в исследованиях, следует считать <u>важнейшим непреходящим достижением Леонардо-учёного</u>.

Проведённый в работе анализ научных работ Леонардо именно с позиций того, КАК он подходил к решению проблем, снимает большую часть возражений критиков в «случайности, в интуитивном характере полученных результатов», «в отсутствии интереса к разработке какого-либо систематического раздела знаний», «в неспособности его мысли к обобщению, к синтезу и вообще к абстрактному мышлению»... Да, до-Ньютоновская наука редко доходила до «точных» формул, и было бы неверно ожидать от Леонардо того, что было не в его силах. Повторение – мать учения. Не будет лишним ещё раз процитировать замечание Тома-

са Гольдштейна из книги «На заре современной науки» о трудности и огромном значении первичных открытий, сделанных нашими далёкими и недостаточно, по современным меркам, образованными предшественниками: «Неужели кто-нибудь скажет, что попытка взяться за решение проблемы без достаточной информации и хорошо развитых методов требует меньшей интеллектуальной энергии и изобретательности, чем необходимо для продвижения от задачи к задаче в рамках надёжно установленных отраслей знаний?». По отношению к Леонардо да Винчи такая оценка была бы более корректной, чем цитированная выше мало обоснованная жёсткая критика. Более того, Леонардо не только просто «брался за решение» проблем, но глубоко проникал в суть многих важных явлений. **Следует пересмотреть вопрос о его роли в истории науки и отразить его достижения в учебниках.**

Напутствие Леонардо будущим исследователям

«Внимательно изучайте меня, читатели, если Вы восхищаетесь мной, ибо очень редко я буду возвращаться в мир, и потому что упорство в этой профессии можно найти лишь среди немногих, и только среди тех, кто желает создавать новое. Приходите, люди, поглядеть на чудеса, какие научные занятия раскрывают в Природе». Madrid I, 6r.

Надеюсь, что одарённые читатели (другие едва ли могли дочитать книгу до конца) также получали наслаждение от общения с Леонардо да Винчи, ярким самобытным учёным, и почувствовали особенности его столь эффективного научного метода. Вне всякого сомнения, Ваши настойчивые усилия в добывании знаний, в создании нового знания, увенчаются большим успехом.

Buona Fortuna! - LEONARDO *С Пожеланием Успехов* - Михаил Могилевский

Новосибирск, Россия (1966-98) – Испра, Италия (1994-95) – Сиэтл, США (1998-2008)

ИЛЛЮСТРАЦИИ

Рис.50

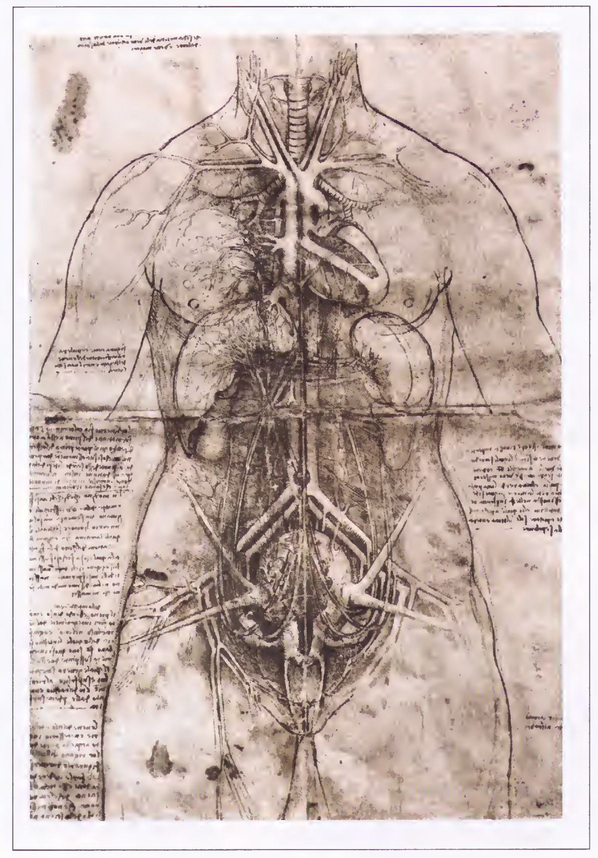


Рис.70

Рис.33 а



Рис.33б

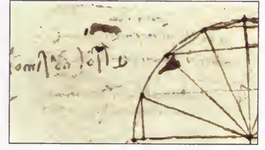


Рис.77

контакт с цепочкой из другой области

аналогия

известное

решение из другой области

правая полусфера коры больших полушарий (воображение)

мозолистое тело»

левая полусфера коры больших полушарий (анализ)

Анализируемый массив данных

?

Координатор

недостающая связь

вывод

Рис.36

Рис.26

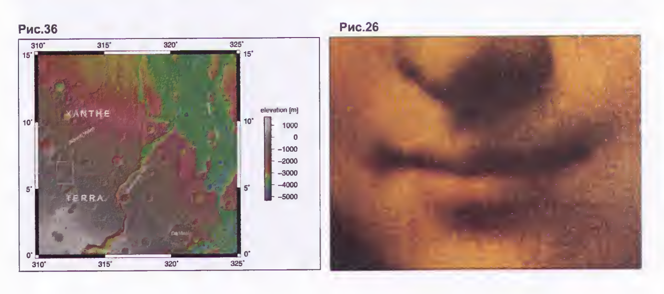


Рис.83



Рис.80

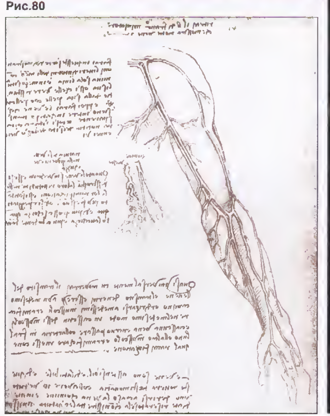


Рис.51



Рис.58

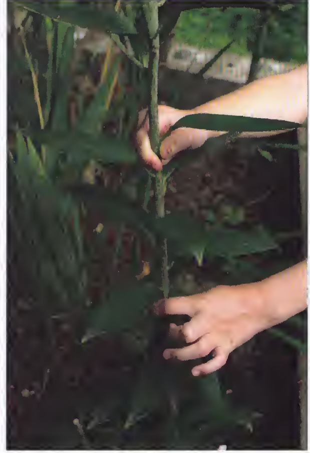


Рис.97

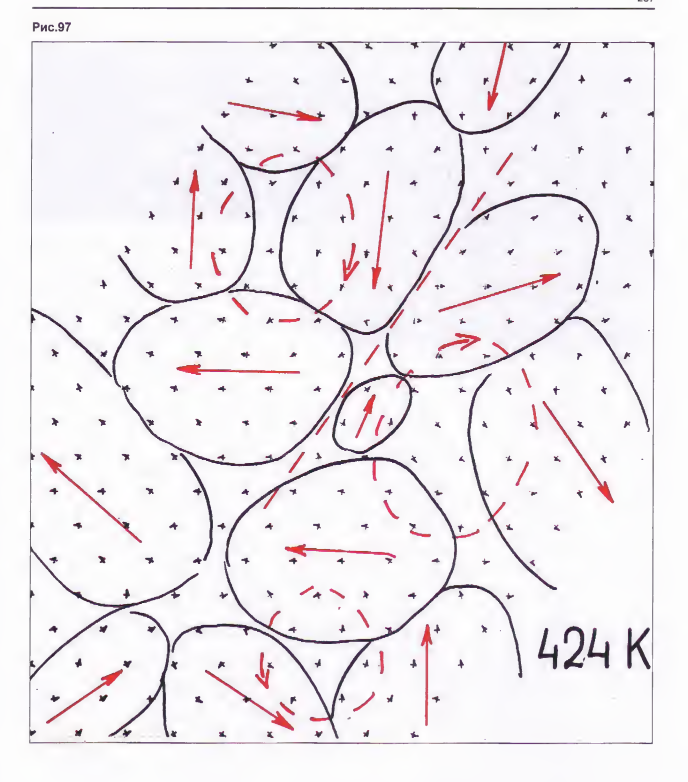


Рис.37



Рис.102



Рис.59



НАУЧНЫЙ МЕТОД ЛЕОНАРДО ДА ВИНЧИ

М. А. МОГИЛЕВСКИЙ